



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Determinación de rendimiento hídrico en cuencas con
poca información hidrométrica y su aplicación al
Proyecto de Irrigación Chavini**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Carmen Rosa MAURI YAPO

ASESOR

Douglas Donal SARANGO JULCA

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mauri, C. (2016). *Determinación de rendimiento hídrico en cuencas con poca información hidrométrica y su aplicación al Proyecto de Irrigación Chavini*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

1312



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS MODALIDAD (M-1)

168
7 mayo

Siendo las 12:00 a.m del día miércoles 21 de setiembre de 2016, en el Aula 205 de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Mg. Ing. JORGE GASTELO VILLANUEVA y con la asistencia del asesor MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA, y miembro Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de Titulación Profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, de la Bachiller.

CARMEN ROSA MAURI YAPO

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invita a la Bachiller CARMEN ROSA MAURI YAPO a realizar la Exposición del Trabajo de Tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI".

Concluida la exposición de la candidata y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente del mismo, invitó a la Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó a la candidata a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por la Bachiller, la misma que es:

.....DIECISEIS..... 16.....

El Presidente del Jurado Mg. Ing. JORGE GASTELO VILLANUEVA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró a la Bachiller CARMEN ROSA MAURI YAPO, Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 13:30 horas del mismo día, se levanta la sesión.

Mg. Ing. JORGE GASTELO VILLANUEVA
PRESIDENTE

MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA
ASESOR

Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
MIEMBRO

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mi hermano mayor
José Antonio (en memoria),
A mis padres, y hermanos,
Quienes me brindaron su amor, apoyo y confianza
Para la realización de cada uno de mis propósitos.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida, oportunidades y retos que han servido de ayuda para mejorar.

A mis padres, Juan Mauri y Carmen Yapó, por mantener la confianza en mí, apoyándome en cada uno de mis pasos para llegar hasta donde nos lo propusimos, a ellos mis respetos y admiración eterna.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos por ser parte de mi formación profesional.

Al Ing. Douglas Donal Sarango Julca, Asesor de esta tesis y pieza fundamental en los últimos años en la Universidad.

Al Programa de Fondo de Tesis del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y al Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Físicas por brindar apoyo a los estudiantes sanmarquinos en el desarrollo de sus proyectos de tesis desde el pregrado.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú -SENAMHI por brindarme oportunamente la información solicitada para la realización de este estudio.

Al Proyecto Especial Pichis Palcazu del Ministerio de Agricultura por brindarme las facilidades para visitar sus oficinas en San Martín de Pangoa, y efectuar el reconocimiento en la zona del proyecto.

C.R.M.Y

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCION.....	12
1.1. ANTECEDENTES.....	12
2. OBJETIVOS.	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
3. MARCO CONCEPTUAL	15
3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOLÓGICAS DE UNA CUENCA.....	15
3.1.1 Superficie	15
3.1.2 Perímetro	16
3.1.3 Forma de la cuenca.....	16
3.1.4 Sistema de drenaje.....	17
3.1.5 Elevación de los terrenos	19
3.1.6 Rectángulo equivalente	20
3.1.7 Declividad de los álveos	20
3.1.8 Declividad de los terrenos	22
3.1.9 Coeficiente de torrencialidad.....	23
3.1.10 Coeficiente de masividad	23
3.1.11 Tiempo de concentración de una cuenca	23
3.2. ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO	25
3.2.1. Análisis de saltos en la media y desviación estándar	25
3.2.1.1 Salto en la media.....	26
3.2.1.2 Salto en la desviación estándar	28
3.2.1.3 Eliminación de saltos	29
3.2.2. Análisis de Tendencias en la Media y Desviación Estándar	30
3.2.2.1 Tendencia en la Media	31
3.2.2.2 Tendencia en la Desviación Estándar	35
3.2.2.3. Eliminación de la Tendencia.....	38
3.3 MODELO DETERMINÍSTICO – ESTOCÁSTICO LUTZ-SCHOLTZ.....	39
3.3.1 Coeficiente de Escurrimiento	40
3.3.2 Precipitación total mensual en la cuenca de estudio	41
3.3.3 Área de la Cuenca de estudio.....	41
3.3.4 Retención de la cuenca (R).....	41
3.3.5 Coeficiente de Agotamiento (a)	42
3.3.6 Precipitación Efectiva (PE).....	42
3.3.7 Retención hídrica de lagunas, pantanos y napa freática	44
3.3.8 Gasto de la retención (Gi).....	44
3.3.9 Cálculo del abastecimiento o la alimentación de la retención que se presenta en la estación lluviosa (octubre–marzo)	45

3.3.10	Generación de caudales medios mensuales (CMI) para el año promedio	46
3.3.11	Generación de caudales medios mensuales con modelo Markoviano	46
3.4	DEMANDA DE AGUA	46
3.4.1	Formulación de la cedula de cultivo	47
3.4.2	Evapotranspiración potencial	47
3.4.3	Coeficiente de cultivo	49
3.4.4	Evapotranspiración real	50
3.4.5	Eficiencia de riego	52
3.4.6	Requerimiento de agua.....	52
3.5	BALANCE HÍDRICO.....	52
3.6	ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS	53
3.6.1.	Distribución Teóricas Probabilísticas	53
3.6.2.	Determinación de máximas avenidas en función de la Precipitación Máxima en 24 horas – Método del Soil Conservation Service (SCS)	54
4.	MATERIALES Y METODOS.....	60
4.1.	MATERIALES.....	60
4.1.1.	DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO	62
4.1.2.	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....	62
4.1.3.	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA	63
4.1.4.	INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DISPONIBLE	63
4.2.	METODOLOGIA.....	80
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	81
5.1	RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOLÓGICAS DE LA CUENCA.....	81
5.2	RESULTADOS DEL ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO	81
5.2.1	Análisis de Curva de Doble Masa, Saltos y Tendencias de Precipitación Estación Satipo- Periodo (1964-1980).....	82
5.2.2	Análisis de la Curva de Doble Masa, Saltos y Tendencias de la Información de Precipitación, Periodo 1964-2009 de la estación Satipo.....	83
5.3	RESULTADOS DE LA GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	85
5.3.1	Precipitación total mensual	87
5.3.2	Coeficiente de Escorrentía.....	87
5.3.3	Parámetros del modelo de balance hídrico para el año promedio.	88
5.3.4	Diseño del modelo matemático para la generación de caudales medios mensuales	92
5.3.5	Generación de caudales medios mensuales en la cuenca del río Chavini.....	93
5.3.6	Disponibilidad Hídrica en el área del Proyecto	97
5.4	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA.....	103

5.4.1	Formulación de la cedula de cultivo	103
5.4.2	Evapotranspiración potencial	103
5.4.3	Coeficiente de cultivo	104
5.4.4	Eficiencia de riego	105
5.4.5	Requerimiento de agua.....	105
5.5	RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO CHAVINI	109
5.6	DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA RÍO CHAVINI.	110
5.6.1	Información básica utilizada	110
5.6.2	Precipitación máxima diaria.....	111
5.6.3	Análisis de Frecuencias	112
5.6.4	Caudales máximos de avenidas en el sitio de interés de la cuenca Chavini	116
6.	CONCLUSIONES.....	124
7.	RECOMENDACIONES	127
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Clasificación de corrientes de agua.....	17
Figura 3.2 Curvas Hipsométricas	20
Figura 3.2 Pendiente del cauce principal	21
Figura 3.3: Serie Histórica de Precipitación.....	26
Figura 3.4: Distribución t de Student.....	28
Figura 3.5: Distribución de Fisher “F “	29
Figura 3.6: Tendencia Lineal.....	30
Figura 3.7: Tendencia no Lineal.....	30
Figura 3.8: Tendencia en la media.....	31
Figura 3.9: Eliminación de la Tendencia en la Media.....	35
Figura 3.10: Desviación Estándar a nivel mensual.	36
Figura 3.11: Desviación Estándar vs. Años.....	36
Figura 3.12: Eliminación de la tendencia en la media y desviación estándar de la serie	38
Figura 3.13: Curva Generalizada del coeficiente de cultivo	50
Figura 4.1: Macro Localización de la zona de estudio	60
Figura 4.2: Localización de la Bocatoma Chavini.....	61
Figura 4.3: Delimitación del Área de estudio	61
Figura 4.4: Cartas Nacionales del IGN	63
Figura 4.5. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas en la zona de estudio.	64
Figura 4.6: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Satipo.....	67
Figura 4.7: Serie Histórica de Precipitación Máxima en 24 Horas Completada	69
Estación Satipo.....	69
Figura 4.8: Estación Satipo: Variación de la Temperatura media mensual (°C).....	70
Figura 4.9: Estación Satipo: Variación de la Temperatura mínima mensual (°C)	73
Figura 4.10: Temperatura mínima mensual (°C) – Estación Satipo.....	73
Figura 4.11: Estación Satipo - Variación de la Temperatura máxima mensual (°C)	75
Figura 4.12: Estación Satipo: Variación de la Humedad Relativa (%)	77
Figura 4.13: Estación Satipo - Variación de la Evaporación mensual (mm).....	77
Figura 4.14: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Puerto Ocopa ...	79
Figura 5.1: Análisis de Doble Masa Estación Satipo y Puerto Ocopa Período 1964 – 1980 .	82
Figura 5.2: Curva de Doble Masa Estacion Satipo vs Puerto Ocopa	83
Figura 5.3: Análisis de Doble Masa Estación Satipo y Puerto Ocopa Período 1999 – 2009 .	84
Figura 5.4: Correlación entre los Caudales teóricos obtenidos y Caudales históricos registrados (m³/s) en Estación Chavini (1999-2002)	91

Figura 5.5: Caudales medios mensuales a diferentes persistencias. Cuenca río Chavini.	99
Figura 5.6: Curva de duración de la Cuenca Río Chavini	103
Figura 5.7: Diagrama Oferta – Demanda – Irrigación Chavini.	109
Figura 5.8: Serie Histórica de Precipitación Máxima en 24 Horas	111
Figura 5.9: Ajuste de Distribuciones de Probabilidad de Precipitación.....	115
Figura 5.10: Precipitación Máxima en 24 Horas versus Tiempo de Retorno.....	116
Figura 5.11: Geometría del Hidrograma Unitario SCS	119
Figura 5.12: Valores de corrección de la Precipitación Máxima 24 horas por efecto de área de Cuenca	120
Figura 5.13: Perfiles de lluvia para 24 horas de duración.	121
Figura 5.14: Hidrograma de Máximas Avenidas para diferentes Período de Retorno.	123

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1: Water Power Resources Service (WPRS).....	43
Cuadro 3.2: Método del United States Bureau of Reclamation (USBR)	43
Cuadro 3.3: Coeficientes para el Cálculo de la Precipitación Efectiva	44
Cuadro 3.4: Coeficientes anuales y mensuales para el cálculo de la contribución de la retención.....	44
Cuadro 3.5: Eficiencias para Sistemas de Riego	52
Cuadro 3.5: Eficiencias para Sistemas de Riego	52
Cuadro 4.1: Acceso a San Martin de Pangoa	62
Cuadro 4.2: Acceso a la Bocatoma Chavini	62
Cuadro 4.3: Información Hidrometeorológica Histórica disponible en las	65
Estaciones Satipo y Puerto Ocopa	65
Cuadro 4.4: Diagrama de Barras de Información Hidrometeorologica.....	64
Cuadro 4.5 : Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Satipo.....	68
Cuadro 4.6: Diagrama de Barras de Información de Precipitación Máxima en 24 Hora.....	69
Estación Satipo.....	69
Cuadro 4.7: Temperatura Media Mensual (°C) – Estación Satipo	71
Cuadro 4.8: Temperatura Mínima Mensual (°C) – Estación Satipo	72
Cuadro 4.9: Temperatura Máxima Media Mensual (°C) – Estación Satipo	74
Cuadro 4.10: Humedad Relativa Media mensual (%) – Estación Satipo.....	76
Cuadro 4.11: Evaporación Total Mensual (%) – Estación Satipo	78
Cuadro 4.12: Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Puerto Ocopa.....	79
Cuadro 5.1: Mediciones básicas para la cuenca aportante a la Bocatoma Chavini.....	81
Cuadro 5.2: Variables morfométricas para la cuenca del Rio Chavini.....	81
Cuadro 5.3: Estación Satipo – Precipitación mensual libre de Saltos y Tendencias	86
Cuadro 5.4. Estación hidroeléctrica Chavini – Caudales medios mensuales (m³/s)	87
Cuadro 5.5. Precipitación total mensual (mm) – Estación Satipo. Periodo 1999-2002	87
Cuadro 5.6: Retención por lagunas, pantanos y napa freática.	89
Cuadro 5.7: Caudal de aportación año promedio de la cuenca de recepción de la	91
Estación Chavini (1999-2002).....	91
Cuadro 5.8: Parametros del modelo de generacion de periodos extendidos.....	88
Cuadro 5.9: Resultados de la Regresión Múltiple entre Qt, Qt-1 y PEt.	93

Cuadro 5.10: Obtención de la Precipitación Efectiva (PE) para todo el período de datos de Precipitación total mensual de estación Satipo	94
Cuadro 5.11: Generación de números aleatorios normales	95
Cuadro 5.12: Caudales mensuales generados (mm/mes) en la Cuenca del río Chavini.	96
Cuadro 5.13: Caudales medios mensuales generados en la cuenca Chavini.....	94
Cuadro 5.14: Caudales medios mensuales ordenados (m^3/s) en la	98
Cuadro 5.15: Persistencia a distintos niveles	97
Cuadro 5.16: Caudales medios mensuales generados en la cuenca del Rio Chavini- Disponibilidad Hídrica, Método de Weibull.....	99
Cuadro 5.17: Irrigación Chavini – Cédula de cultivo.	103
Cuadro 5.18: Calculo de la evapotranspiración potencial (Etp). Método de Radiación.	104
Cuadro 5.19: Irrigación Chavini – Coeficiente de cultivo Kc	104
Cuadro 5.20: Irrigación Chavini – Requerimiento total de agua por cultivo.....	106
Cuadro 5.21: Demanda Total Hidrica.....	107
Cuadro 5.22: Irrigación Chavini – Balance Hídrico con los Recurso de los ríos Chavini	109
Cuadro 5.23: Estación meteorológica Satipo en la Cuenca del río Chavini	110
Cuadro 5.24: Diagrama de Barras de Información de Precipitación Máxima	111
Cuadro 5.25: Precipitación Máxima en 24 Hrs (mm) – Estación Satipo	112
Cuadro 5.26: Ajuste de Funciones de Distribución de Probabilidades de las Precipitaciones Máximas de 24 Horas (mm) – Estación Satipo	113
Cuadro 5.27: Ajuste de las Precipitaciones Máximas de 24 Horas (mm) a la Función de Distribución de Probabilidades Log Pearson Tipo III – Estación Satipo	114
Cuadro 5.28: Precipitaciones Máximas de 24 Horas (mm) para Diferentes.....	116
Cuadro 5.29: Relación entre la Precipitación Máxima Verdadera y	120
Cuadro 5.30: Caudales Máximos de Avenidas para Diferentes Períodos De Retorno obtenidos con método SCS en el sitio de emplazamiento de la Bocatoma.....	120
Cuadro 5.31: Zona Captación Río Chavini - Hidrograma de Avenidas para un Período de Retorno de 2 Años.....	122

ANEXOS

ANEXO A: INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	130
ANEXO B: ANALISIS DE SALTOS Y TENDENCIAS	141
ANEXO C: MÁXIMAS AVENIDAS.....	147
ANEXO D: ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA	155
ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO.....	157

PLANOS

Plano 01:	PLANO DE LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI
Plano 02:	INFLUENCIA DEL AREA DEL PROYECTO – IRRIGACIÓN CHAVINI
Plano 03:	NUMERO DE ORDEN DEL RIO CHAVINI
Plano 04:	UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLOGICAS-POLIGONO DE THIESSEN
Plano 05:	MAPA INTERPRETATIVO DE ZONIFICACION DE LOS CULTIVOS - PROYECTO IRRIGACION CHAVINI
Plano 06:	SISTEMA DE CONDUCCIÓN - PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

El Proyecto Sistema de Irrigación Chavini, está ubicado en el distrito de Pangoa, provincia de Satipo, departamento de Junín, del cual aprovecharía los recursos hídricos superficiales del río Chavini, que es un afluente el río San Ramón, para el riego de aproximadamente 1820 has, ubicadas en la margen izquierda del río antes mencionado.

El río San Ramón es un tributario por la margen izquierda del río Sonomoro, el que luego de recibir las aguas de los ríos Mazamari y Satipo, por la margen izquierda, toma el nombre de río Pangoa, que desembocar, a la altura de Puerto Ocopa, por la margen izquierda del río Perené.

En la actualidad, dentro del área de estudio, por la escases de lluvias en un periodo más o menos largo, que se extiende desde Abril a Setiembre, donde se producen tan solo el 30 % de las precipitaciones totales anuales, y por la falta de una infraestructura adecuada de riego, la agricultura que se practica es a secano en su totalidad, lo que no permite la práctica de una agricultura intensiva que permita un gran volumen de producción que se pueda orientar no sólo al mercado interno sino a la exportación. Los cultivos predominantes en el ámbito del estudio son: cítricos (naranja valencia y tangelo), café, cacao, piña, plátano, maíz amarillo, yuca, frijol.

El maíz amarillo y frijol se siembran básicamente para el consumo familiar, siendo destinado al comercio la producción de café, cacao, yuca, naranja (valencia y tangelo), piña, plátano (isla), de gran significación, en cuanto a volumen, en los Centros Poblados de Nueva Palestina, Villa María, Leoncio Prado, Pampa Tigre, Piñal, Bajo Celendín.

No se puede explotar la totalidad de la superficie con aptitud para riego por la limitación de infraestructura de riego. Otros factores limitantes de la actividad agrícola en la zona, aparte del factor agua, es la falta de asistencia a los agricultores, por su bajo nivel cultural solo se limitan a practicar una agricultura de bajo nivel tecnológico que conlleva a obtener bajos rendimientos y productos de mala calidad.

Por lo expuesto el Proyecto de Irrigación Chavini, está referido a la introducción del riego tecnificado en la zona (toda la actividad agrícola actualmente es por secano), que permita manejar una agricultura intensiva, mejorando los niveles tecnológicos actuales.

Actualmente la cuenca del río Chavini no cuenta con estaciones hidrometeorológicas que registren los parámetros meteorológicos que caracterizan al área de influencia del proyecto, sin embargo existen cuencas vecinas que disponen de estaciones pluviométricas operativas que cuentan con registros históricos de precipitación total mensual , el cual será la información de partida para realizar el estudio propuesto en la presente tesis.

2. OBJETIVOS.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el Rendimiento Hídrico a partir de la generación de caudales medios mensuales en el sitio emplazamiento de la Bocatoma del Proyecto de Irrigación Chavini, empleando el modelo hidrológico Precipitación-Escorrentía de Lutz Scholtz.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Confeccionar series de precipitación total mensual a partir de la información disponible.
- Definir el modelo hidrológico de Lutz Scholtz.
- Calibrar y validar el modelo hidrológico de Lutz Scholtz.
- Determinar los caudales medios mensuales en el sitio de emplazamiento de la Bocatoma del Proyecto de Irrigación Chavini.
- Desarrollar el Balance Hídrico y analizar la disponibilidad hídrica en el sitio de ubicación de la Bocatoma del Proyecto
- Estimar los caudales máximos en el punto de ubicación de la Bocatoma del Proyecto de Irrigación Chavini.

3. MARCO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se revisan los principales temas a tratar en la presente tesis, asociados a esta investigación. También se hace una revisión de los conceptos básicos a manejar para la comprensión de los procedimientos propuestos en este trabajo, y de los resultados obtenidos.

3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOLÓGICAS DE UNA CUENCA

Hidrológicamente una cuenca funciona como un gran colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimientos, esta acción es función de una gran cantidad de parámetros que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca (Campos Aranda, 1998,132p).

3.1.1 Superficie

Esta comprende de las siguientes características:

3.1.1.1 Área total de la cuenca

Característica geomorfológica más importante para el diseño ya que el área que delimita es la proyección horizontal encerrada por su divisoria de aguas. Según investigaciones hidrológicas existen diferencias entre una cuenca grande y una cuenca pequeña en cuanto a su respuesta hidrológica.

En una cuenca pequeña su respuesta estará condicionado por el tipo de suelo y cobertura, en una cuenca grande habrá que darle más cuidado a la hidrología del cauce principal.

En clase a la magnitud de cuencas se puede tener una clasificación siguiente.

3.1.1.2 Área de la cuenca de recepción

Área de la cuenca donde se presenta la mayor cantidad promedio de precipitaciones Su área está determinada a partir de un punto de control llamado estación de aforo.

3.1.1.3 Área de la cuenca húmeda

Corresponde a un porcentaje del área de una cuenca cualquiera cuya precipitación media anual está por encima de los 200 mm son capaces de producir escurrimiento.

3.1.2 Perímetro

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio de la hoya es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca.

3.1.3 Forma de la cuenca

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrógrafa).

3.1.3.1 Índice de compacidad o de Gravelius

Representado como un numero adimensional que nos permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, y de esta manera representar esta característica (Gaspari, 2002). Está definido como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área A dela cuenca hidrográfica.

$$k = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (3.1)$$

3.1.3.2 Factor de forma (Ff)

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante a la cuenca.

El ancho medio, se obtiene cuando se divide el ara por la longitud axial de la cuenca (Monsalve, 1999).

$$Kf = \frac{B}{L} \quad (3.2)$$

$$B = \frac{A}{L} \quad (3.3)$$

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (3.4)$$

Dónde:

- B: Ancho medio en Km.
 L: Longitud axial de la cuenca, en Km.
 A: Área de drenaje, en Km².
 L: Longitud del río.

Una cuenca con factor de forma bajo está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma. El factor es adimensional

3.1.4 Sistema de drenaje

Constituye otro de los detalles físicos importantes de las cuencas hidrográficas, ya que la curva del hidrograma depende de la eficiencia del sistema de drenaje, y por otra parte a través de este se puede analizar las características del terreno sobre el que se desarrolla.

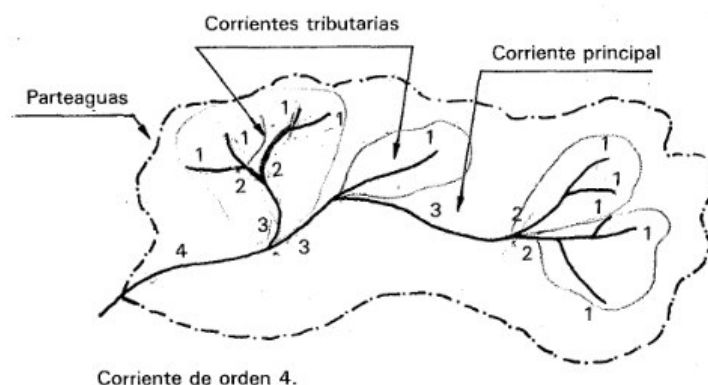
3.1.4.1 Grado de ramificaciones

El orden de la cuenca está dado por el orden del cauce principal.

- Corriente de primer orden: pequeños canales que no tiene tributarios
- Corrientes de segundo orden: Dos corrientes de primer orden se unen.
- Corrientes de tercer orden: Dos corrientes de orden n se unen.
- Corriente de orden n+1: Dos corrientes de orden n se unen.

Se tienen en consideración que mientras más alto es el orden de la cuenca, indica un drenaje más efectivo que desalojara rápidamente el agua.

Figura 3.1 Clasificación de corrientes de agua



Fuente: Fundamentos de Hidrología de Superficie, F.J. Aparicio 1989.

3.1.4.2 Densidad de drenaje

Establecida como el cociente entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca y el área total de la cuenca (A), la misma que controla la eficiencia del drenaje y señala el estado erosivo (Horton ,1945).

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \quad (3.5)$$

Dónde:

A: Área en km².

Li: Longitud de cada cauce

3.1.4.3 Extensión media de escurrimiento superficial

Es la distancia media en línea recta que el agua precipitada tendrá que recurrir para llegar al lecho de un curso de agua. Se obtiene de la siguiente relación:

$$Es = \frac{A}{4 * Li} \quad (3.6)$$

Dónde:

Es: Extensión Media de escurrimiento Superficial

Li: Suma de la longitud de los ríos de 1er, 2do, 3er, 4to y 5to Orden (Km).

A: Área de la Micro cuenca (Km²).

3.1.4.4 Frecuencia de ríos

Es el parámetro que relaciona el total de los cursos de agua con el área total de la Micro cuenca. Se obtiene de la siguiente relación:

$$F_{(A)} = \frac{Nq}{Area} \quad (3.7)$$

Dónde:

F(A) : Frecuencia de quebradas en ríos/Km²

Nq : Numero de quebradas (número total de cursos de agua)

A : Área de la Micro cuenca (Km.)

3.1.5 Elevación de los terrenos

La variación de la elevación de los terrenos con referencia al nivel del mar, es otra característica que representa la declividad de la Microcuenca. Dentro de ella tenemos los siguientes índices:

3.1.5.1 Altitud media de la cuenca

Este valor puede ser encontrado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas.

La altura media, H , es la elevación promedia referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca.

3.1.5.2 Polígono de frecuencia de altitudes

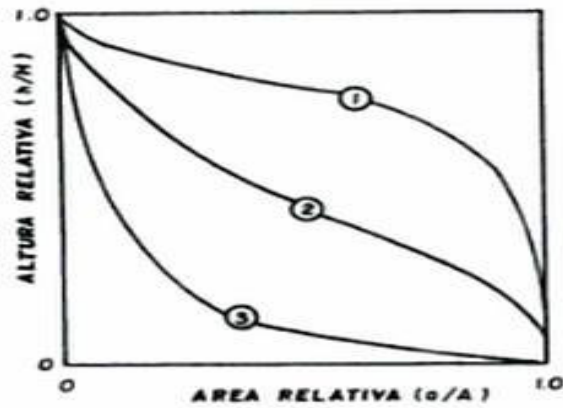
Es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.

3.1.5.3 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie. Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez, 1996). En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales.

Figura 3.2 Curvas Hipsométricas



Fuente: Procesos del Ciclo Hidrológico, D.F. Campos Aranda, 1992

3.1.6 Rectángulo equivalente

Es una transformación puramente geométrica de la cuenca con el mismo perímetro, superficie y coeficiente de compacidad e idéntica repartición hipsométrica la cual servirá para la declividad de los terrenos.

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución actitudinal de la cuenca original.

$$L = \frac{C_g \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_g} \right)^2} \right] \quad (3.8)$$

$$l = \frac{C_g \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_g} \right)^2} \right] \quad (3.9)$$

Dónde

L : Altura del rectángulo en Km.

l : Base del rectángulo en Km

C_g : Coeficiente de Gravelius.

A : Superficie de la cuenca en Km^2

3.1.7 Declividad de los álveos

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales escurre con una velocidad que depende directamente de la declividad de estos, así a mayor declividad habrá mayor

velocidad de escurrimiento. Entre los parámetros utilizados para su determinación se tiene los siguientes.

3.1.7.1 Pendiente del cauce principal

Se considera uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca ante una tormenta, dado que esta varía a lo largo del cauce. A partir de ello es necesario definir una a la pendiente media como el desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.

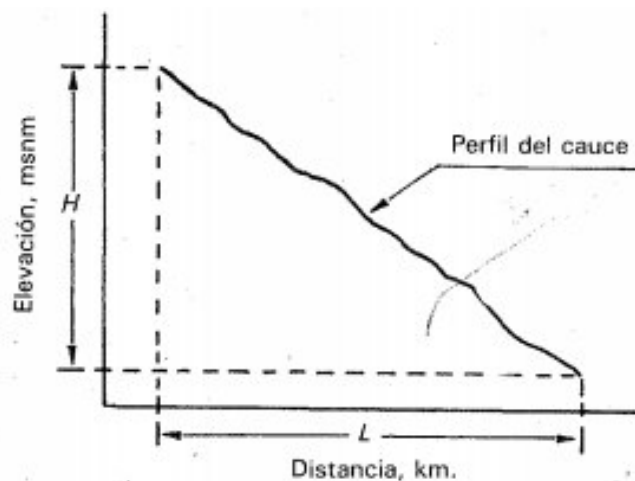
$$j = \frac{h}{l} \quad \text{ó} \quad j = \frac{DA}{L} \quad (3.10)$$

Dónde

DA, h: Desnivel altitudinal en Km.

L: Longitud del cauce en Km.

Figura 3.2 Pendiente del cauce principal



Fuente: Fundamentos de Hidrología de Superficie, F.J. Aparicio.1989.

3.1.7.2 Declive equivalente constante (S)

El tiempo de traslado de flujo, varía en toda la extensión del río con la inversa de la raíz cuadrada de la declividad.

$$j = \frac{h}{l} \quad (3.11)$$

Dónde:

S = Declividad equivalente constante

Tm = Tiempo medio de traslado

L = Longitud parcial

T = Recíproco de la raíz cuadrada de las declividades

L = Longitud más larga del río.

3.1.8 Declividad de los terrenos

Llamada también pendientes de la cuenca, característica que influye de manera directa en el escurrimiento superficial. De acuerdo a las declividades podremos ver el tiempo de traslado del agua de lluvia hacia los lechos fluviales de la red de drenaje de la cuenca. Los métodos empleados:

3.1.8.1 Método de líneas divisorias

Consiste en dividir el mapa de la cuenca mediante cuadrículas, de manera que exista un número considerable de ella (No menor de 30). Midiendo la longitud de las líneas del cuadrículado y determinando el número de veces que estas cortan a las curvas de nivel se llega a determinar la declividad de los terrenos mediante la siguiente relación:

$$S1 = 1.57 D \cdot \frac{N}{Lo} \quad (3.12)$$

Dónde:

S1: Declividad de los terrenos

D: Intervalo entre las curvas

N: Longitud total de las líneas del cuadrículado comprendidas en la cuenca.

3.1.8.2 Método de índice de pendiente de la cuenca o pendiente media de la cuenca

Es valor medio de todas las pendientes de la Cuenca, se deduce del rectángulo equivalente.

$$Ip = \sum (Bi)^{0.5} (a_n - a_{(n-1)} - 1) \frac{1}{L^{0.5}} \quad (3.13)$$

$$Ip = \frac{1}{L^{0.5}} * \sum \left(Bi * \frac{a_n - a_{(n-1)} - 1}{1000} \right)^{0.5} \quad (3.14)$$

Dónde:

n: Numero de curva de nivel en el rectángulo.

a1, a2, a(n-1), an: Valor de las cotas de las "n" curvas de niveles considerados.

Bi: Es una fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas a_n , $a_{(n-1)}$ (en metros)

Bi: B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7

3.1.9 Coeficiente de torrencialidad

Índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca.

$$Cl = \frac{\text{Numero de cauces de orden 1}}{\text{Área de la cuenca en (km}^2\text{)}} \quad (3.15)$$

La descripción de las características morfométricas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permite un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

3.1.10 Coeficiente de masividad

Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie.

$$Km = \frac{Hm}{A} \quad (3.16)$$

Dónde:

Hm: Altura media.

A: Superficie de la cuenca en km^2 .

Del análisis de esta relación, se observa que el coeficiente de masividad aumenta con la altura media de la cuenca y para cuencas pequeñas son marcados los desniveles adquiriendo valores muy grandes. Este coeficiente diferencia cuencas con la misma altura media, sin embargo, su valor puede ser el mismo para cuencas en donde los fenómenos de erosión sean distintos. Se expresa en metros / km^2 .

3.1.11 Tiempo de concentración de una cuenca

Es considerado como el tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Chow, 1994).

Su cálculo se realiza mediante la aplicación de ecuaciones determinadas empíricamente la que en su mayoría utiliza variables de tipo topográfico, destacando importancia su inclinación y longitud del cauce principal.

Ahora bien, existen varios métodos para estimar el tiempo de concentración en superficies, entre ellos se mencionan los siguientes:

i. Ventura –Heras

$$tc = a \frac{S^{0.5}}{i} \quad (3.17)$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (3.18)$$

Siendo $0.05 \leq a \leq 0.5$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).

i: Pendiente media del cauce principal (%)

S: Área de cuenca (km²)

L: Longitud del cauce principal (km)

a: Alejamiento medio

ii. Passini

$$tc = a \frac{(SL)^{\frac{1}{S}}}{i^{0.5}} \quad (3.19)$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (3.20)$$

Siendo $0.04 \leq a \leq 0.13$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).

i: Pendiente media del cauce principal (%)

S: Área de cuenca (km²)

L: Longitud del cauce principal (km)

a: Alejamiento medio

iii. Kirpich

Kirpich (1940) desarrolló una ecuación empírica, a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee, con canales bien definidos y pendiente

pronunciadas (3 a 10%) (Chow,1994). La Ecuación (3.21) muestra su expresión de cálculo.

$$tc = 0.02 \frac{L^{0.77}}{S^{-0.385}} \quad (3.21)$$

Dónde

Tc: tiempo de concentración (horas)

L: longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S: pendiente promedio de la cuenca (m/m).

iv. Temez

Témez (1991) desarrolló una formula a partir de la modificación de la del US Army Corps of engineers, esta se considera para cuencas entres 1-3 km²

$$tc = 0.3 \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}} \quad (3.22)$$

Dónde

Tc: tiempo de concentración (horas)

L: longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (km)

S: pendiente promedio de la cuenca (m/m).

3.2. ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO

3.2.1. Análisis de saltos en la media y desviación estándar

Son formas determinísticas transitorias que permiten a una serie hidrológica periódica o no periódica pasar de un estado a otro como respuesta a cambios hechos por el hombre debido al continuo desarrollo de los recursos hídricos en una cuenca (presas, embalses, bocatomas, etc.). Los saltos se pueden presentar principalmente en los parámetros media y desviación estándar.

Procedimiento y análisis

Se sigue el siguiente procedimiento:

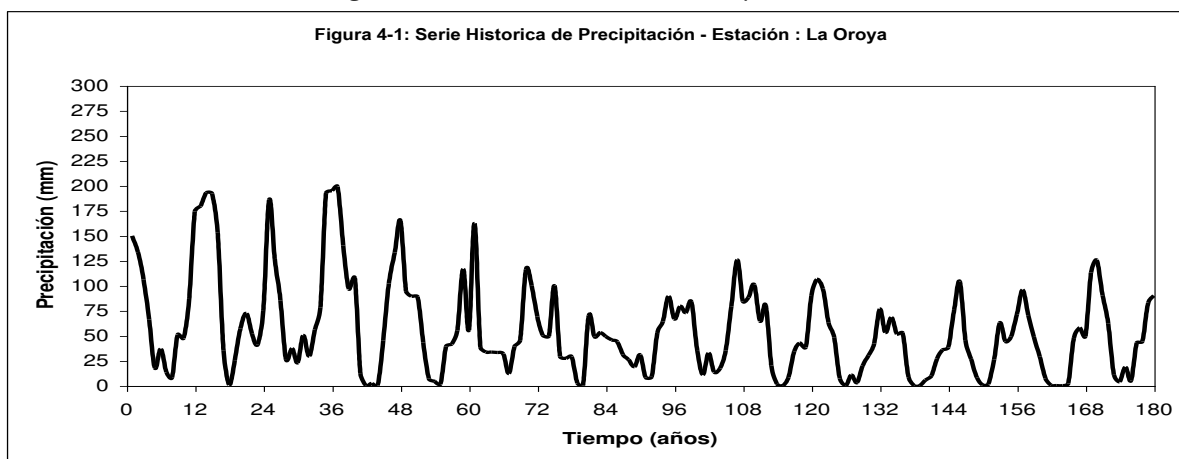
- Identificación
- Evaluación y/o cuantificación
- Corrección y/o eliminación

La detección del salto tiene por objeto identificar la presencia del mismo y evaluar las causas que lo han producido, como son las acciones del hombre o por fenómenos naturales ocurridos. Estos son los siguientes:

- a) **Información de campo:** La cual hace referencia a la operación y mantenimiento de las estaciones, cambio de operarios, traslado de lugar de la estación, regulación de los ríos, derivaciones. Todo esto nos permite identificar las posibles causas y el tiempo durante el cual ocurrieron dichos cambios.
- b) **Análisis de la serie hidrológica:** Análisis visual de la distribución temporal de toda la información disponible y combinando con la información de campo detectar la regularidad o no regularidad de la información.

Un ejemplo de esto es relacionar Precipitación y/o descarga (eje de ordenadas) Vs. tiempo en años, meses, semanas o diarias (eje de abscisas)

Figura 3.3: Serie Histórica de Precipitación



Fuente: Elaboración propia

- Si se dispone de una sola serie (un solo registro), este se puede dividir en varios periodos y compatibilizar con la información de campo obtenida.
- Si se tienen varias estaciones, comparar sus series respectivas y observar cual período varia con respecto a los otros.
- Si en el área de estudio se cuenta con datos de precipitación y descarga se puede comparar ambas series, en vista que el caudal es efecto directo de la precipitación.
- Se debe mantener en lo posible el período más largo y más reciente como el período más confiable, pues es más fácil obtener información sobre ella.

3.2.1.1 Salto en la media

Mediante la prueba de significación “T” se analiza si los valores promedio son estadísticamente iguales o diferentes, el procedimiento es el siguiente:

a-1) Calcular la media y desviación estándar para cada período, según las ecuaciones

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n x_i \quad ; \quad s_1 = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.23)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n x_i \quad ; \quad s_2 = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad (3.24)$$

a-2) ESTADISTICO “ T ” : Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

1) Establecer la HIPOTESIS PLANTEADA (H.p) y la HIPOTESIS ALTERNATIVA (H.a) y el NIVEL DE SIGNIFICACION (α):

H.p : $\mu_1 = \mu_2$ (media poblacional)

H.a : $\mu_1 \neq \mu_2$ (asumiendo que las varianzas σ_1^2 y σ_2^2 son iguales)

\bar{x}_1 = media muestral y μ_1 = media poblacional

$\alpha = 0.05$ (5%) nivel de significación

2) Calculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios

$$s_d = s_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad (3.25)$$

$$s_p = \left[\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad (3.26)$$

Dónde:

sd = desviación estándar de las diferencias de los promedios

sp = desviación estándar ponderada

3) Realización de la prueba “T “

Cálculo del Tc según:

$$T_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_d} \quad (3.27)$$

Dónde:

$\mu_1 = \mu_2$ por H.p

T_c = Estadístico "T" calculado

- 4) Hallar en valor del estadístico "T" de tabla o tabular (T_t) en las tablas con:

Nivel de capacidad (N.C) = con 95% de probabilidades

Con nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (5%)

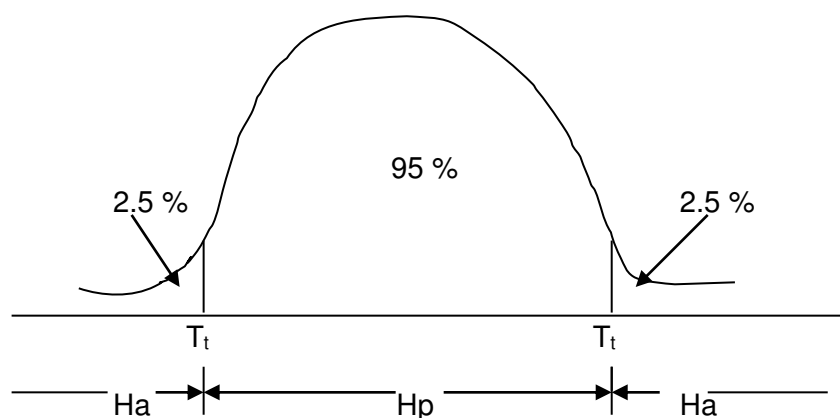
Con Grados de Libertad G.L = $n_1 + n_2 - 2$

- 5) Conclusión:

Si $|T_c| < T_t$ (95%) $x_1 = x_2$ (estadísticamente)

Si $|T_c| > T_t$ (95%) $x_1 \neq x_2$ (estadísticamente)

Figura 3.4: Distribución t de Student



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Salto en la desviación estándar

Este análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza con la prueba estadística "F" el procedimiento es el siguiente:

- b-1) Cálculo de las variancias de ambos períodos: s_1^2 y s_2^2 , según ecuaciones

$$s_1 = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.28)$$

$$s_2 = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad (3.29)$$

b-2) Prueba Estadística “F “

- 1) Establecer la HIPOTESIS PLANTEADA (H.p) y la HIPOTESIS ALTERNATIVA (H.a) y el NIVEL DE SIGNIFICACION (α):

H.p : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (variancia poblacional)

H.a : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$\alpha = 0.05$ (5%) nivel de significación

- 2) Cálculo del estadístico “F “calculado (F_c):

$$F_c = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad \text{si} \quad s_1^2 > s_2^2 \quad (3.30)$$

$$F_c = \frac{s_2^2}{s_1^2} \quad \text{si} \quad s_2^2 > s_1^2 \quad (3.31)$$

- 3) Hallar en valor del estadístico “F “ de tabla o tabular (F_t) en las tablas con:

Grados de Libertad $\alpha = 0.05$ (5%)

Grados de Libertad en el Numerador G.L.N = $n_1 - 1$

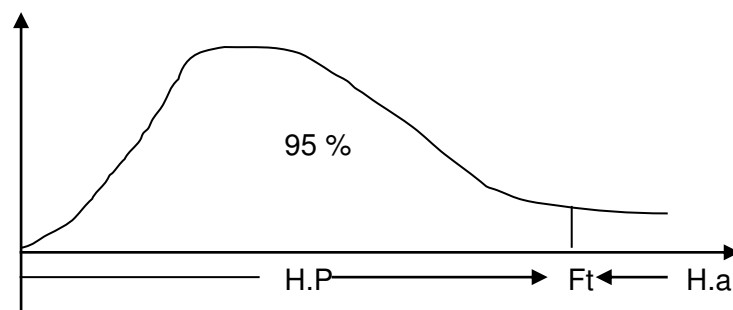
Grados de Libertad en el Denominador G.L.D = $n_2 - 1$

- 4) Conclusión:

$$\text{Si : } F_c \leq F_t (95\%) \longrightarrow s_1 = s_2 \text{ (estadísticamente)} \quad (3.32)$$

$$\text{Si : } F_c > F_t (95\%) \longrightarrow s_1 \neq s_2 \text{ (estadísticamente)} \quad (3.33)$$

Figura 3.5: Distribución de Fisher “F “



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3 Eliminación de saltos

En los casos que los parámetros media y desviación estándar resultaran estadísticamente iguales la información original no se corrige por ser CONSISTENTE con 95% de probabilidades, aún si la Curva de Doble Masa se observen pequeños quiebres.

Si la media y desviación estándar resultaran estadísticamente diferentes, entonces se CORRIGE la información mediante la ecuación siguiente:

$$x'_t = \left(\frac{x_t - \bar{x}_1}{s_1} \right) s_2 + \bar{x}_2 \quad \text{Para corregir el 1er. período} \quad (3.34)$$

$$x'_t = \left(\frac{x_t - \bar{x}_2}{s_2} \right) s_1 + \bar{x}_1 \quad \text{Para corregir el 2do período} \quad (3.35)$$

Dónde:

- x'_t Valor corregido de la información.
- x_t Valor a ser corregido.
- $\bar{x}_1, \bar{x}_2, s_1, s_2$ Son parámetros ya calculados anteriormente.

3.2.2. Análisis de Tendencias en la Media y Desviación Estándar

Tendencias son cambios sistemáticos y continuos (ascendentes o descendentes) sobre una muestra de información hidrometeorológica, que afecta las distribuciones y dependencias de la serie, por ejemplo, un cambio ascendente o descendente de la precipitación en el histograma de precipitaciones de una estación pluviométrica, lo cual está indicando una tendencia.

- Se debe tener presente que el análisis de tendencias se realiza a la serie de datos libre de saltos en la media y desviación estándar.
- La tendencia se pueden separar de las otras componentes (periódica, aleatoria) de la serie, lo que hace posible removerlas y/o incorporarlas.
- La tendencia puede existir en cualquier parámetro de una serie, en la media, varianza, pero por lo general las tendencias se presentan únicamente en la media si la información es anual y en la media y desviación estándar si la información es mensual.
- Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, estas últimas pueden ser representadas en serie de potencias o expresiones logarítmicas.

Figura 3.6: Tendencia Lineal

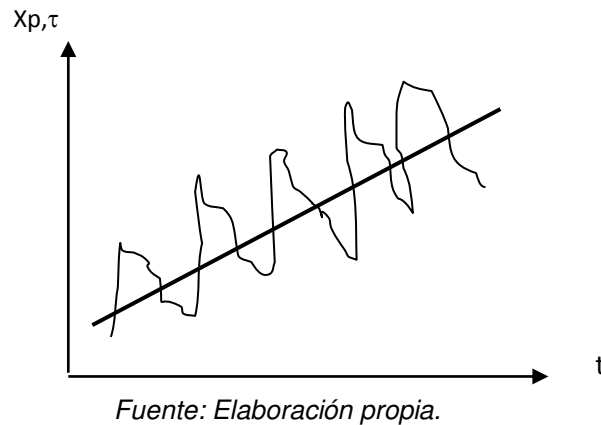
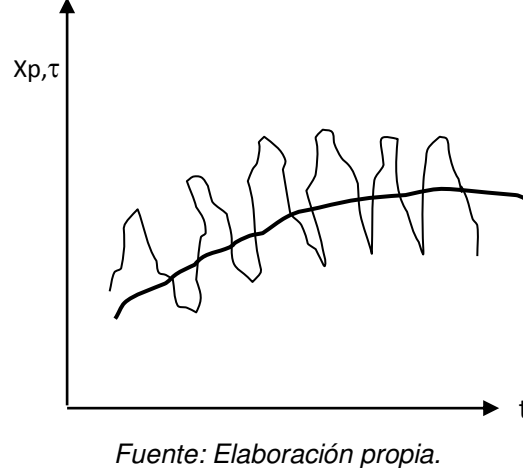


Figura 3.7: Tendencia no Lineal



Las tendencias pueden ser aproximadas por una ecuación de regresión lineal y en algunos casos por polinomios que representan tendencias curvilíneas o exponencial, en los dos primeros parámetros como son la media y la desviación estándar.

3.2.2.1 Tendencia en la Media

La tendencia en la media Tm_p , puede ser expresada por el polinomio:

$$Tm_{p,\tau} = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \quad (3.36)$$

Dónde:

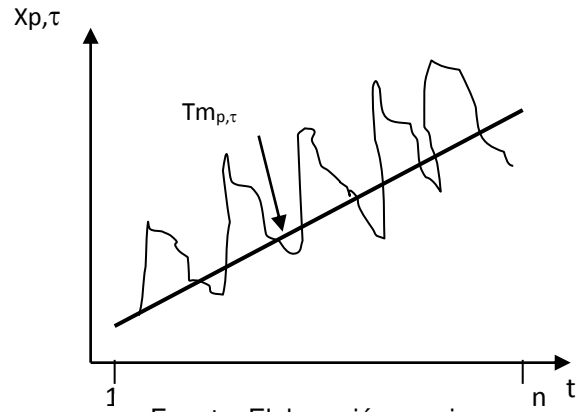
A_m, B_m, C_m = parámetros polinomiales

t = el tiempo

En mucho de los casos esta tendencia se puede estimar por la ecuación de regresión simple:

$$Tm_{p,\tau} = A_m + B_m t \quad (3.37)$$

Figura 3.8: Tendencia en la media



Fuente: Elaboración propia.

A.1 Estimación de parámetros (Por mínimos cuadrados)

Si se tiene la ecuación de la recta:

Por semejanza

$$\begin{array}{ccc} y = a + bx & & \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow & & \\ Tm_{p,\tau} = A_m + B_m t & & (3.38) \end{array}$$

Sabemos que:

$$a = \bar{y} - c\bar{x} \text{ Por cambio de variable} \quad A_m = Tm_{p,\tau} - B_m \bar{t} \quad (3.39)$$

$$\text{Si } y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \longrightarrow Tm_{p,\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{p,\tau})_i}{n} \quad (3.40)$$

Promedio total toda la serie

$$\text{Si } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \longrightarrow \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = (1+2+3+4+\dots+n) / n \quad (3.41)$$

$$\text{Si } b = r \frac{s_y}{s_x} \longrightarrow B_m = r \frac{S_{Tm_{p,\tau}}}{St} \quad (3.42)$$

A.2 Analizando las desviaciones estándar

$$S_y = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \right)^{1/2} \longrightarrow St_m = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_{p,\tau} - \bar{Tm})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (3.43)$$

$$S_x = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2} \longrightarrow S_t = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (3.44)$$

A.3 Analizando el coeficiente de correlación

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x S_y}$$

Dónde:

$$\overline{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} \quad (3.45)$$

$$\overline{Tm.t} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{p,\tau})_i \cdot t_i}{n} \quad (3.46)$$

Luego se tendrá:

$$r = \frac{\overline{Tm.t} - \bar{Tm} \cdot \bar{t}}{STm \cdot S_t} \quad (3.47)$$

A.4 Evaluación si la tendencia es significativa o no

Se analiza el coeficiente de regresión “b” o también el coeficiente de correlación “R” el cual para ello utiliza el estadístico “T”.

Se procede a calcular el estadístico “T”.

$$T_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad n = \text{número total de datos de la serie} \quad (3.48)$$

t		$X_{p,\tau}$
Enero 1985	1	58.2
Febrero 1985	2	56.5
Marzo 1985	3	55.2
Abril 1985	4	64.4
	5	
\bar{t}		\bar{x}
S_t		S_x

Se procede a calcular el "Tt" (T de tabla)

$$T_t = \infty (n-2)G.L \quad \text{con} \quad \infty = 0.05 (5\%)$$

G.L. = n-2 ; donde n = número total de datos

Criterios:

$$\text{Si} \quad |T_c| < T_t$$

"r" no es significativo, luego la Tendencia no es significativa, por lo tanto con los límites de confianza dados o adoptados solo se está cometiendo un 5% de error

$$\text{Si} \quad |T_c| > T_t$$

"r" es significativo, luego tendremos que eliminar la tendencia en la media.

A.5 Eliminación de la tendencia

Una vez encontrada la tendencia en la media "T_{mp,τ}" mediante la expresión:

$$Tm_{p,\tau} = A_m + B_m t$$

Entonces podremos obtener los datos "Y_{p,τ}" libre de tendencia en la media mediante la expresión siguiente:

$$Y_{p,\tau} = X_{p,\tau} + Tm_{p,\tau} \quad (3.49)$$

En forma simple tendremos lo siguiente:

$$Y_{p,\tau} = X_{p,\tau} - (A_m + B_m t) \quad (3.50)$$

Dónde:

X_{p,τ} : Es la serie de información analizada

$T_{mp,\tau}$: Tendencia en la media

$Y_{p,\tau}$: Serie sin tendencia en la media, que presenta las siguientes características:

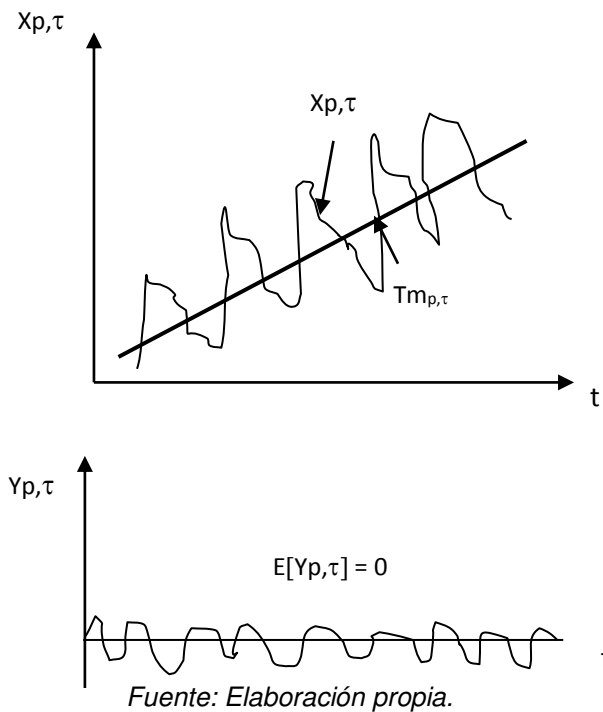
$$E[Y_{p,\tau}] = 0, \quad \text{VAR}[Y_{p,\tau}] = \text{VAR}[X_{p,t}]$$

Si la tendencia polinómica resultara significativa, esta se eliminará:

$$Y_{p,\tau} = X_{p,\tau} - (A_m + B_m t + C_m t^2 + \dots) \quad (3.51)$$

Gráficamente tendremos lo siguiente (Figura 3.9):

Figura 3.9: Eliminación de la Tendencia en la Media



3.2.2.2 Tendencia en la Desviación Estándar

Solamente se presenta la tendencia en la desviación estándar cuando los datos no son anuales

B.1 La representamos con la ecuación polinomial:

$$Y_{p,\tau} = X_{p,\tau} - (A_m + B_m t + C_m t^2 + \dots) \quad (3.52)$$

O de forma más simplificada por la ecuación de regresión lineal simple:

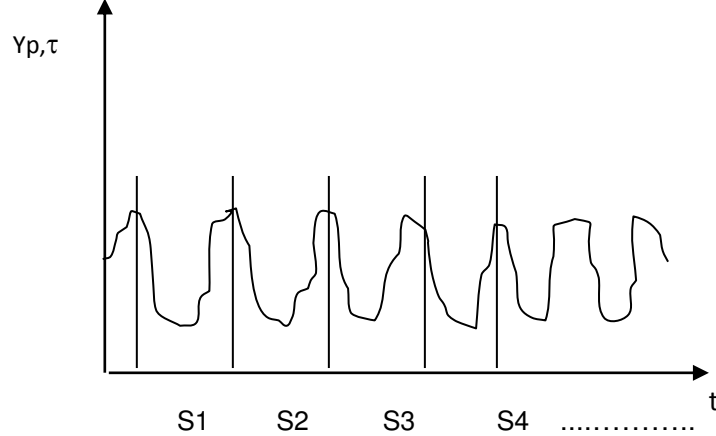
$$Ts_p = A_s + B_s t \quad (3.53)$$

Dónde t = tiempo

B.2 Estimación de los parámetros

- Agrupamos los datos anualmente (Datos sin tendencia en la media, $Y_{p,\tau}$)
- Para cada año calculamos su desviación estándar.

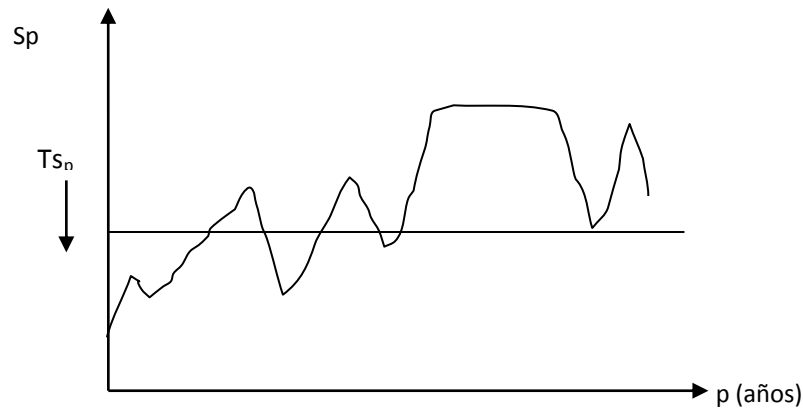
Figura 3.10: Desviación Estándar a nivel mensual.



Fuente: Elaboración propia

B.3 Gráficamente las desviaciones estándar obtenidas en el paso B.2 serán:

Figura 3.11: Desviación Estándar vs. Años.



Fuente: Elaboración propia

La ecuación para hallar la desviación estándar es:

$$S_p = \left(\frac{\sum_{n=1}^n (y_{p,\tau} - \bar{y}_p)^2}{\tau - 1} \right)^{1/2} \quad (3.54)$$

Si $\tau = 12$ meses:

$$S_p = \left(\frac{\sum_{p=1}^{12} (y_{p,\tau} - \bar{y}_p)^2}{12-1} \right)^{1/2} \quad (3.55)$$

B.4 Estimamos los parámetros “As” y “Bs”:

Con las derivadas estándares en el Ítem B.2, se estiman los parámetros “As” y “Bs” de la ecuación (3.48)

$$Ts_p = A_s + B_s t \quad (3.56)$$

Dónde t = tiempo

$$\text{Luego:} \quad A_s = Ts_p - B_s t \quad (3.57)$$

$$B_s = r \frac{STs_p}{St}, \quad \text{donde } STsp = \text{desviación estándar total} \quad (3.58)$$

El coeficiente de correlación será:

$$r = \frac{\overline{Ts.t} - \bar{t}.\bar{Ts}}{STs.S_t} \quad (3.59)$$

Dónde:

$$\overline{Ts.t} = \frac{\sum_{i=1}^n S_s \cdot p}{n} \quad (3.60)$$

B.5 Evaluación: Utilizando el estadístico “T “ :

Cálculo del “T” calculado “Tc”:

$$T_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.61)$$

Se procede a calcular el “Tt” (T de tabla)

Tt = ∞ (n-2) G.L

Con ∞ = 0.05 (5%)

G.L. = n-2 ; donde n = número total de datos

Criterios:

$$\text{Si } T_c / T_t \leq T_t \quad (3.62)$$

“r” no es significativo, luego la tendencia no es significativa, con los límites de confianza dados o adoptados solo se está cometiendo un 5% de error.

$$\text{Si } |T_c| > T_t \quad (3.63)$$

“r” es significativo, luego se tendrá que eliminar la tendencia en la desviación estándar.

3.2.2.3. Eliminación de la Tendencia

$$Z_{p,t} = \frac{Y_{p,t}}{Ts_{p,t}} \quad (3.64)$$

$$Z_{p,t} = \frac{X_{p,t} - Tm_{p,t}}{Ts_{p,t}} \quad (3.65)$$

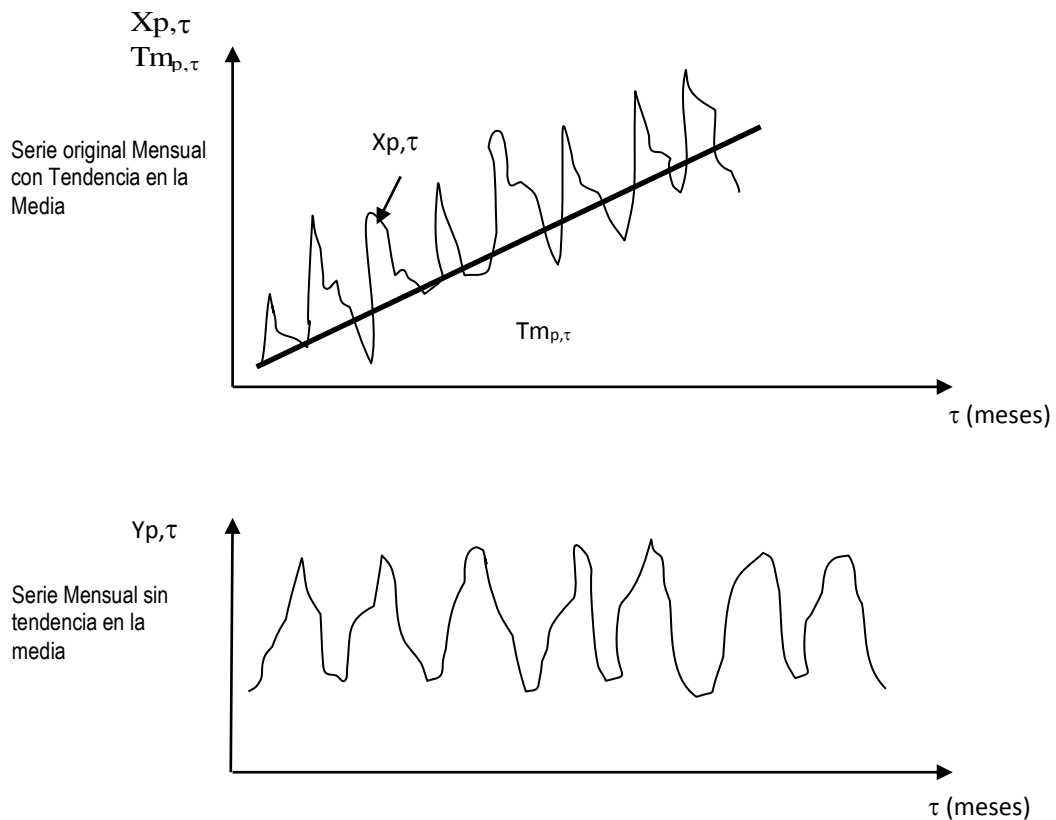
Dónde:

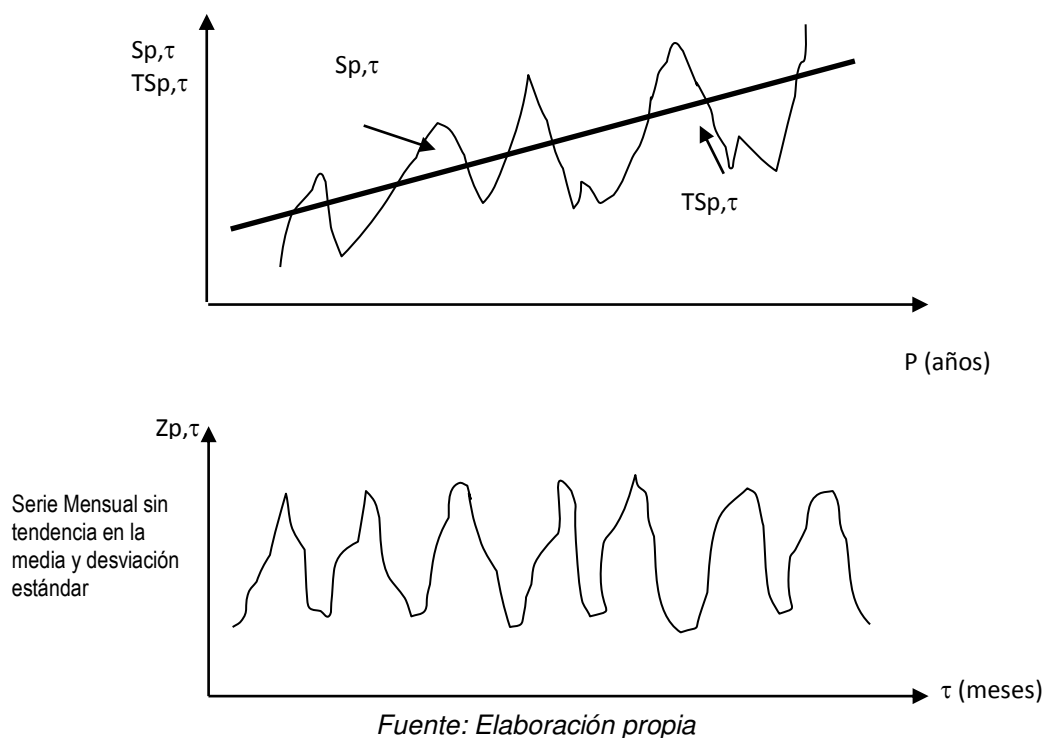
$Z_{p,t}$ = serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar, con características:

$$E[Z_{p,t}] = 0 \quad \text{y} \quad \text{VAR}[Z_{p,t}] = 1$$

En este caso $Z_{p,t}$ es libre de tendencias y no homogeneidades y mantiene las componentes periódicas y estocásticas del proceso original $X_{p,t}$, Ver la Figura 3.12.

Figura 3.12: Eliminación de la tendencia en la media y desviación estándar de la serie $x_{p,\tau}$





3.3 MODELO DETERMINÍSTICO – ESTOCÁSTICO LUTZ-SCHOLTZ

Este modelo hidrológico es combinado, porque cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico). Fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

Considerando la ausencia de registros de caudal promedio mensual en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas. La implementación del modelo considera lo siguiente:

- a) Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrentía promedio.
- b) Establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica.

- c) En base a lo establecido en (a) y (b) se realiza el cálculo de los caudales medios mensuales.
- d) Calibración del modelo y generación de caudales medios mensuales extendidos por un proceso Markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal medio mensual del mes anterior.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad etc.).

3.3.1 Coeficiente de Escurrimiento

La literatura profesional muestra varias referencias para la estimación del coeficiente de escurrimiento “C”, los mismos que se determinan dependiendo el tipo de suelo y cobertura vegetal (Chow 1, p. 21-38)

Un método para el cálculo del coeficiente “C” ha sido presentado por Turc (1962), cuya fórmula ha sido desarrollada sobre la base de observación en 254 cuencas situadas en todos los climas.

Según este método el coeficiente de escurrimiento depende de la precipitación promedio anual en mm/año (P) y del déficit de escurrimiento en mm/año (D), que a su vez eficientes hay que distingue entre el caso de lluvias de una función de temperatura (L), siendo la temperatura media anual (T) en °C.

Se tiene las siguientes relaciones:

$$C = \frac{P - D}{P} \quad (3.66)$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación Total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

$$D = \frac{P}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{0.5}} \quad (3.67)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (3.68)$$

Siendo: L = Coeficiente de Temperatura
 T = Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$)

Según Chow (1, p. 21-38) indica valores entre 0.10 y 0.50 dependiendo del tipo de suelo y de la cobertura vegetal.

3.3.2 Precipitación total mensual en la cuenca de estudio

Se determina la precipitación total mensual sobre la cuenca según el método de Thiessen por polígonos de influencia de las estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la cuenca, teniendo en cuenta la gradiente de lluviosidad calculada a partir de datos de las mismas estaciones.

3.3.3 Área de la Cuenca de estudio

Es el tamaño de la superficie expresado en km^2 , que representa el área drenada comprendida desde la línea de división de aguas, hasta un punto convenido. El área de una cuenca en general es un elemento físico que proporciona la posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico. (German Monsalve, 1999).

3.3.4 Retención de la cuenca (R)

Suponiendo que para el año promedio exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual.

Se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal según las fórmulas siguientes: Las ecuaciones (3.69) y (3.70) son contribuciones hídricas al caudal.

Dónde:

$$R_i = Q_i - PE_i \quad (3.69)$$

$$Q_i = PE_i + G_i + A_i \quad (3.70)$$

Q_i = caudal mensual (mm/mes)

PE_i = precipitación efectiva mensual (mm/mes)

R_i = retención de la cuenca (mm/mes)

G_i = gasto de la retención (mm/mes)

A_i = abastecimiento de la retención (mm/m)

$R_i = G_i$ para valores mayores de cero (mm/mes)

$R_i = A_i$ para valores mayores de cero (mm/mes)

Sumando todos los valores de G o A respectivamente halla la retención total R de la cuenca durante el año promedio en la dimensión de (mm/año).

3.3.5 Coeficiente de Agotamiento (a)

La determinación del coeficiente de agotamiento real se efectúa sobre la base de datos hidrométricos del río durante la estación seca. Pero cuando no existe ningún aforo o solamente una observación, se utiliza una de las ecuaciones empíricas (3.71 al 3.74) definidas para cuatro clases de cuencas según el modelo:

Agotamiento rápido, por la retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna).

$$a = -0.00252 * \ln AR + 0.030 \quad (3.71)$$

Agotamiento mediano, por retención mediana (alrededor de 80mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)

$$a = -0.00252 * \ln AR + 0.026 \quad (3.72)$$

Agotamiento reducido, por alta retención (arriba de 100 mm/año) y vegetación mezclada.

$$a = -0.00252 * \ln AR + 0.023 \quad (3.73)$$

Agotamiento muy rápido, por temperatura elevada mayor de 10°C y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana (80 mm/año).

$$a = -0.0025 * \ln AR + 0.034 \quad (3.74)$$

Dónde:

a = coeficiente de agotamiento por día.

AR = Área de la cuenca

3.3.6 Precipitación Efectiva (PE)

Considerada como la porción de la precipitación total que genera el escurrimiento superficial a través de los cauces de agua. Para el cálculo de la precipitación efectiva el análisis se realiza dependiendo el tipo de requerimiento del estudio como: la

precipitación efectiva desde el punto de vista para cultivos y la precipitación efectiva desde el punto de vista hidrológico.

En cuanto la precipitación efectiva desde el punto de vista para cultivos se adopta los métodos de Water Power Resources Service (WPRS) y el método original del US Bureau of Reclamation (USBR) para la determinación de la porción de lluvias aprovechable para los cultivos.

Cuadro 3.1: Water Power Resources Service (WPRS)

INCREMENTO DE LA PRECIPITACIÓN (mm)	% DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA (PE)
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
>155	5

Fuente: PLAN MERIS II- Generación de caudales medios en la Sierra Peruana- LUTZ SCHOLTZ

Cuadro 3.2: Método del United States Bureau of Reclamation (USBR)

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (RANGO EN mm)	PORCENTAJE DEL AUMENTO (RANGO) %	PRECIPITACIÓN EFECTIVA ACUMULADA (RANGO EN
0 - 25.4	90 - 100	22.9 - 25.4
25.4 - 50.8	85 - 95	44.5 - 49.5
50.8 - 76.2	75 - 90	63.5 - 75.4
76.2 - 101.6	50 - 80	76.2 - 92.7
101.6 - 127.0	30 - 70	83.8 - 102.9
127.0 - 152.4	oct-40	86.4 - 118.1
>152.4	0 - 10	85.4 - 120.6

Fuente: PLAN MERIS II- Generación de caudales medios en la Sierra Peruana- LUTZ SCHOLTZ

En cuanto a la precipitación efectiva desde el punto de vista de la hidrología, toma como precipitación efectiva una parte de la precipitación mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR (el cual es considerado como antítesis de la precipitación efectiva para cultivos) el cual se desarrolla mediante la ecuación de un polinomio de quinto grado (Ver Ecuación 3.75) elaborado por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex-programa Nacional de Pequeñas y Medias Irrigaciones – Plan Meris II.

$$Pe = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (3.75)$$

Dónde:

PE= Precipitación efectiva mensual (mm/mes)

P= Precipitación total mensual (mm/mes)

Ai=Coeficiente del polinomio.

Mediante la aplicación de la expresión algebraica (3.75), se ha determinado los límites superiores para la precipitación efectiva, entre los cuales tenemos:

Límite superior para la Precipitación efectiva:

Curva I P: 177.8 mm/mes

Curva II P: 152.4 mm/mes

Curva III P: 127.0 mm/mes

En el cuadro 3.3, muestra los tres juegos de coeficientes, que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Cuadro 3.3: Coeficientes para el Cálculo de la Precipitación Efectiva

	COEFICIENTES PARA EL CALCULO SEGÚN		
	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	-0.018	-0.021	-0.028
a1	-0.0185	0.1358	0.2756
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1204 E-8	4.35E-05	5.53E-05
a4	+144 E-9	-9.80E+01	1.24E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Fuente: Plan de mejoramiento de Riego en la Sierra y la Selva

3.3.7 Retención hídrica de lagunas, pantanos y napa freática

Se refiere a la lámina de agua acumulada en los tres tipos de Almacén Hídrico, en base a la cuenca en referencia.

Cuadro 3.4: Coeficientes anuales y mensuales para el cálculo de la contribución de la retención.

TIPO	LAMINA ACUMULADA MM/AÑO		
	Pendiente de la cuenca		
	2%	8%	15%
NAPA FREÁTICA	300	250	200
LAGUNAS Y PANTANOS		500	
NEVADOS		500	

Fuente: PLAN MERIS II- Generación de caudales medios en la Sierra Peruana- LUTZ SCHOLTZ

3.3.8 Gasto de la retención (Gi)

Se calcula el gasto de la retención (Gi) tanto para la estación húmeda y para la estación seca.

a. Relación entre la descarga del mes actual y del mes anterior

$$g_0 = e^{-at} \quad (3.76)$$

Dónde:

a = coeficiente de agotamiento.

t = número de días del mes, igual a 30 días

b. La relación de descarga del mes actual y del mes anterior para la estación

seca: La relación de descarga del mes actual y del mes anterior para la estación seca se obtiene con la siguiente relación:

$$G_i = (g_0)^i \quad (3.77)$$

Dónde:

G_i = Relación de descarga del mes actual y del mes anterior

i = Número de orden de los meses de la estación seca, a partir de su inicio.

Para i =1 para abril, i = 2 para mayo,..., i = 5 para agosto.

c. Cálculo del gasto de la retención, de los meses de la estación seca: Para el cálculo del gasto de la retención, de los meses de la estación seca (abril -agosto) se aplica la siguiente expresión:

$$G_i = \frac{R_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^6 g_i} \quad (3.78)$$

Dónde:

G_i = gasto de la retención para el mes i

R_i = retención de la cuenca

3.3.9 Cálculo del abastecimiento o la alimentación de la retención que se presenta en la estación lluviosa (octubre–marzo)

Esto se calcula con la siguiente expresión:

$$A_i = a_i \cdot R_i \quad (3.79)$$

Dónde:

A_i = Abastecimiento de la retención mensual del mes i

a_i = Coeficiente de abastecimiento

R_i = retención de la cuenca

i = mes del año, de 1 a 12

3.3.10 Generación de caudales medios mensuales (CMi) para el año promedio

Esto se obtiene con la siguiente relación:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (3.80)$$

Dónde:

- CMi = caudal del mes i
- PEi = precipitación efectiva del mes i
- Gi = gasto de la retención en el mes i
- Ai = abastecimiento en el mes i

3.3.11 Generación de caudales medios mensuales con modelo Markoviano

Para la generación de caudales medios mensuales, se toma en cuenta la precipitación efectiva mensual que se obtiene tomando en cuenta las relaciones expuestas en el Cuadro 3.1, y de igual forma se generaran números aleatorios con distribución normal con media cero y varianza igual a 1, procediéndose luego a la generación de los caudales medios mensuales mediante el modelo siguiente:

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 PE_t + S(1 - R^2)^{1/2} Z_{ti} \quad (3.81)$$

Dónde:

- Qt = Caudal generado del año t
- Qt-1 = Caudal del año (t-1)
- Pet = Precipitación efectiva del año t
- S = Error estándar
- Z = Número aleatorio normal (0,1), del año t
- b1, b2, b3 = Coeficientes de regresión lineal múltiple

3.4 DEMANDA DE AGUA

La demanda de agua agrícola se ha determinado con el cálculo de las necesidades fisiológicas de los cultivos. La Cuantificación de los requerimientos de agua de riego se realiza en base a cédulas de cultivos.

3.4.1 Formulación de la cedula de cultivo

La cedula de cultivo se prepara en base a la lógica de explotación y no necesariamente a la aptitud de los suelos y otros factores. En este sentido es necesario analizar la disponibilidad hídrica para los usuarios.

Es así como las cedulas de cultivo se formulan en base a los requerimientos individuales de cada uno de los cultivos a lo largo de su período vegetativo y calendario de riego para los cultivos seleccionados, posteriormente se procede a calcular los requerimientos netos de riego mensuales.

Se tienen en cuenta los siguientes criterios técnicos para la formulación de las cedulas de cultivo:

- Clima y aptitud de suelos.
- Nivel de demanda de agua de los Cultivos.
- Rentabilidad de los cultivos.
- Comportamiento del mercado para la adquisición de insumos y para la venta de la producción.
- Tenencia de la tierra.
- Vías de comunicación.
- Disponibilidad de servicios para la producción y comercialización.

3.4.2 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP), es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos) , que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua. El comité técnico sobre requerimientos de riego de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) ha utilizado la alfalfa como pasto estándar para el cálculo de la evapotranspiración potencial. Algunos investigadores en la ciencia del riego han empleado otro tipo de pastos.

El principio en el que se basa el método indirecto para obtener la evapotranspiración real de los cultivos a partir de la evapotranspiración potencial, consiste en considerar que si dentro de un mismo ambiente se mide simultáneamente la evapotranspiración, tanto el pasto de referencia como del cultivo, durante un determinado periodo de tiempo, entonces existirá una relación entre ambos valores de la evapotranspiración , cuya cuantificación estará dada por un factor de proporcionalidad al que se le denomina coeficiente de cultivo o factor de cultivo . Como es de suponer, este coeficiente tendrá valores distintos de acuerdo al cultivo de referencia que se utilice .Por ejemplo, si se está empleando la alfalfa como pasto

de referencia y al maíz como el cultivo., en la relación de evapotranspiración, entonces se obtiene un determinado valor del coeficiente de cultivo, que será diferente al obtenido cuando se hubiese relacionado al mismo cultivo con otro pasto. (A.Vásquez et al., 1992)

3.4.2.1. Métodos para determinar la Evapotranspiración potencial:

Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración potencial. Los más comunes son los siguientes:

- Por muestreo de humedad del suelo.
- Lisímetro.
- Tanque de evaporación.
- Balance de agua.
- Balance de energía.
- Métodos o formulas empíricas.

De todos estos métodos, los que tienen mayor aplicación son los métodos empíricos, lisímetro y tanque de evaporación:

a. Método de lisímetro

El método del lisímetro es la forma directa y exacta de medir la evapotranspiración potencial, y consiste en registrar a partir de un aparato llamado lisímetro la evapotranspiración observada durante un periodo de tiempo determinado.

En el interior del lisímetro se encuentra el cultivo patrón o pasto que es materia de análisis.

Este método generalmente se usa en trabajos de investigación y es poco empleado en estudios de requerimiento de agua de los cultivos de proyectos de irrigación. Existen dos tipos de lisímetros de balance y de pasada.

b. Método de tanque de evaporación.

Este método consiste en encontrar una relación entre la tasa de evapotranspiración producida en un lisímetro, y la tasa de evaporación producida en un tanque de evaporación clase A, en base al cual se determina un coeficiente empírico con el que se puede afectar luego las lecturas de evaporación y puede afectar luego las lecturas de evaporación y obtener indirectamente la evapotranspiración potencial para condiciones ambientales específicas. La relación es la siguiente:

$$ETP = F_t + E_o \quad (3.82)$$

Dónde:

ETP= Evapotranspiración potencial, (mm/día).

F_t= Coeficiente empírico, valido para las condiciones ambientales del tanque.

E_o= Evaporación libre de tanque clase "A", (mm/día)

Este método es uno de los más eficientes y exactos, después del método anterior, siempre que se cumpla con todas las condiciones que se requiere para su instalación. Además, es un método sumamente práctico.

c. Métodos o formulas empíricas

Los métodos empíricos consisten en formulas o ecuaciones deducidas por diversos investigadores y están basados en la aplicación de variables meteorológicas como factores que afectan la tasa de la evapotranspiración potencial y que han sido desarrolladas para zonas con características propias.

Las formulas y métodos empíricos más conocidos y de mayor aplicación son:

- Método de Penman.
- Método de Hargreaves
- Método de Blaney-Criddle.
- Método de Radiación.
- Método de Christiansen.
- Método de Jensen-Haise.

3.4.3 Coeficiente de cultivo

Los coeficientes de cultivo (K_c) se usan, factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se quiere evaluar su consumo del agua (A. Vásquez et al., 1992).

a.- Determinación del coeficiente de cultivo (K_c)

Los factores que afectan los valores del K_c, son principalmente: las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo de cultivo, duración del periodo vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, especialmente durante la primera fase de desarrollo.

El coeficiente K_c de cada cultivo, tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo, y que son las siguientes:

- **Fase inicial: Fase 1.**

Comprende del periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo. Desde la siembra hasta el 10% de cobertura vegetal.

- **Fase de desarrollo de cultivo: Fase 2.**

Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden de 70- 80%.

- **Fase de mediados del periodo: Maduración- Fase 3.**

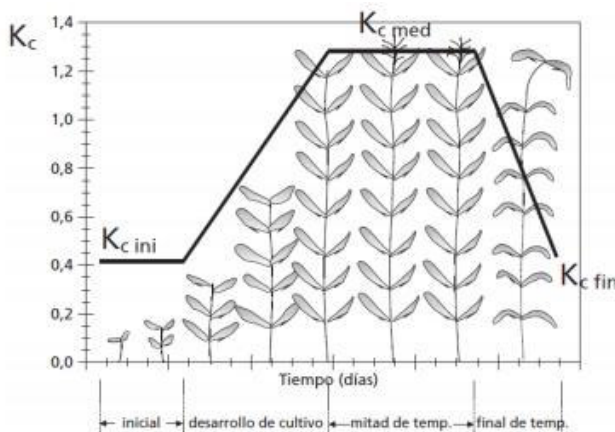
Comprendida desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración de la caída de hojas.

- **Fase final del periodo de vegetativo: Cosecha- Fase 4**

Comprende desde el final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.

En la figura 3.13 se presenta la curva generalizada del coeficiente de cultivo para sus diferentes etapas de crecimiento del cultivo.

Figura 3.13: Curva Generalizada del coeficiente de cultivo



Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56

3.4.4 Evapotranspiración real

La evapotranspiración real o actual es la tasa de evaporación y transpiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un campo extenso (1 o más hectáreas) en un condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua (A. Vásquez et al., 1992).

La evapotranspiración actual es llamada también. Uso consuntivo. Su cálculo se efectúa mediante la relación:

$$E_{tr} = E_{to} * k \quad (3.83)$$

Dónde:

K: Coeficiente que corrige por la fase vegetativa del cultivo y por el nivel de humedad en el suelo.

ETA: Evapotranspiración real o actual del cultivo considerado (mm o cm)

K: Coeficiente que tiene en cuenta el efecto de la relación agua-suelo-planta.

ETP: Evapotranspiración potencial (mm o cm)

El factor k está dado por la relación:

$$k = K_c * K_s * K_h \quad (3.84)$$

Dónde

K_c: Factor de cultivo.

K_s: Factor de suelo.

K_h: Factor de humedad.

Para suelos profundos, de adecuadas condiciones físicas de buena disponibilidad de elementos nutritivos $k_s=1.00$. Este mismo valor tiene K_h para condiciones de óptimo abastecimiento de agua; por lo tanto, k depende fundamentalmente de K_c.

El factor humedad K_h, puede expresarse matemáticamente mediante la expresión:

$$\frac{\theta_i - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} = K_h \quad (3.85)$$

Dónde:

θ_{cc} : Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo

θ_{pmp} : Contenido de humedad del suelo a punto de marchitez permanente.

θ_i : Contenido de humedad del suelo en el momento i.

En consecuencia, el valor del kh varía entre 1 y 0.

El factor k_c, depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de los cultivos y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante el ciclo vegetativo. El factor k_c, está determinado por el volumen foliar de los cultivos (Ver Ecuación 3.85)

Entonces para cualquier ETA de un cultivo cualquiera, se calcula en primer lugar el valor del ETP por cualquiera de los métodos mencionados anteriormente y luego se calcula el valor de K_c según el estado de desarrollo del cultivo.

3.4.5 Eficiencia de riego

La eficiencia está en función al método de riego, la textura y topografía, cuya importancia radica en determinar la relación del agua realmente usada en la evapotranspiración y el agua captada, que son conducidos por causas naturales hasta las obras de captación. En el Cuadro 3.5. , se indica, de forma porcentual, algunas estimaciones.

Cuadro 3.5: Eficiencias para Sistemas de Riego

EFICIENCIAS DE RIEGO ESTIMADAS EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO	
MÉTODO DE RIEGO	% EFICIENCIA
Gravedad	45-65
Aspersión	76-80
Goteo	85-90

Fuente: Operación de Riego de Superficie, Grassi, J.C.1987.

3.4.6 Requerimiento de agua

El requerimiento de agua para los cultivos como todo organismo vivo, cumple un ciclo fisiológico que se inicia con la germinación, pasando por las etapas de desarrollo, maduración y cosecha. A través de todo este proceso, la planta necesita fundamental del suministro de agua, nutrientes y de energía solar.

El agua almacenada en el suelo es la fuente del cual las plantas extraen la cantidad de agua que necesitan para satisfacer sus necesidades hídricas.

3.5 BALANCE HÍDRICO

Se considera que un balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río), indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua (Unesco, 1981)

La ecuación fundamental del balance hídrico mensual expresada en mm/mes se puede describir de la forma siguiente propuesta por Fisher:

$$C_{mi} = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (3.86)$$

Dónde:

C_{mi}: Caudal mensual (mm /mes)

P_i: Precipitación total mensual sobre la cuenca (mm/mes)

Di: Déficit de escurrimiento (mm/mes)

Gi: Gasto de retención en la cuenca (mm/mes)

Ai: Abastecimiento de la retención (mm/mes)

3.6 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

El factor que determina el método a utilizar para el cálculo de la avenida máxima esperada, es la disponibilidad de información del sitio de estudio. En el caso del Proyecto de Irrigación Chavini no se cuenta con información de caudales máximas de avenidas solo se cuenta con información de precipitación máxima en 24 horas, por lo que será necesario aplicar un modelo precipitación-escurrimiento.

3.6.1. Distribución Teóricas Probabilísticas

A continuación se presenta las distribuciones teóricas probabilísticas más utilizadas en la hidrología, para el cálculo de precipitación máximas en 24 horas.

Los modelos de distribución de probabilidades utilizados en el desarrollo del análisis de frecuencia fueron:

- Distribución Normal Gaussiana
- Distribución Log Normal de 2 y 3 parámetros.
- Distribución Gamma de 2 y 3 parámetros.
- Distribución Log-Pearson Tipo III.
- Distribución Gumbel.

a. Distribución normal o Gaussiania

La función Normal considerado el modelo más utilizado y con mayor importancia en el campo de la estadística. Sin embargo, su uso es muy limitado en hidrología, dado que las variables raramente se comportan de esta forma.

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S \sqrt{(2\pi)}} e^{\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{S})^2} \quad (3.87)$$

La función de distribución acumulada normal se define como:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} dx \quad (3.88)$$

Dónde:

$f(x)$: Función densidad normal de la variable x .

$F(x)$: Función de distribución acumulada de la variable x .

X : Variable independiente.

μ : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

σ : Parámetro de escala, igual a la derivación estándar de x .

Estimación de parámetros, método de momentos.

$$\mu = \bar{x} \quad (3.89)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.90)$$

b. Distribución Log- Normal de 2 y 3 parámetros

Las variables físicas de interés en Hidrología (precipitación, caudal, evaporación y otras) son generalmente positivas, por lo cual es usual que presenten distribuciones asimétricas. Así, se ha propuesto aplicar una transformación logarítmica, donde $y = \ln x$, esta normalmente distribuida; luego x está distribuida en forma Normal.

La función de densidad de probabilidad es definida por:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_y x \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2}\right]} \quad (3.91)$$

La función de distribución acumulada log-normal se define como:

$$F(X) = \frac{1}{\sigma_y x \sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{\left[-\frac{1}{2} \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2}\right]} dx \quad (3.92)$$

Dónde:

μ_y =Media de los logaritmos de la población (parámetro escalar), estimado \bar{y} .

σ_y =Desviación estándar de los logaritmos de la población, estimado S_y y asumiendo que $Y=\ln(X)$.

Estimación de parámetros, método de momentos (3.93) y (3.94):

$$\hat{\mu}_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_a(x_i) \quad (3.93)$$

$$\sigma_y = \left\{ \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^N [\log_a(x_i) - \hat{\mu}_y]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.94)$$

Dónde:

$$\ln(X_T) = \mu_y + K\sigma_y \quad (3.95)$$

K es el mismo parámetro de la Distribución Normal, mientras si se quiere trabajar con la variable no transformada en el campo logarítmico se tiene que:

$$K = \frac{\exp \left[K_T (\ln(1 + Cv^2))^{\frac{1}{2}} - \left[\frac{\ln(1+Cv^2)}{2} \right] \right] - 1}{Cv} \quad (3.96)$$

$$K_T = F_u^{-1} \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \quad (3.97)$$

Dónde:

$F_u^{-1} \left(1 - \frac{1}{T_r} \right)$: Es el inverso de la función de distribución Normal estandarizada acumulado.

Cv : Coeficiente de variación.

Si se tiene una variable aleatoria X , y tiene una distribución Log- Normal, esto significa que $Y = \ln(X)$. Es posible una generalización, en el caso que se introduzca un límite inferior X_0 , en cuyo caso $\ln(X)$, es sustituido por $\ln(X-X_0)$.

En la distribución Log-Normal existe una distribución Log-Normal de 2 parámetros y de 3 parámetros, en la de 3 parámetros, al tercer parámetro es el límite inferior X_0 , el cual es denominado parámetro de posición.

c. Distribución Gama de 2 y 3 parámetros

Otra distribución que juega un papel importante en la Hidrología es la distribución gamma. Su aplicación es tan común, como el uso de la distribución Log- Normal.

La función de densidad de probabilidad de la distribución Gamma de 2 parámetros es definida por:

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}} dx \quad (3.98)$$

Dónde:

α : Parámetro de escala.

$\beta > 0$: Parámetro de forma.

$\Gamma(\beta)$: Es la función Gamma completa.

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} z^{\beta-1} e^{-z} dz \quad (3.99)$$

Estimación de parámetros, método de momentos.

$$\mu = \alpha\beta$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta$$

Dónde:

$$\hat{\beta} = \frac{1}{\hat{C}_v^2} \quad y \quad \hat{\alpha} = \frac{\hat{\mu}}{\hat{\beta}}$$

La función de densidad de probabilidad de la distribución Gamma de 3 parámetros es definida por:

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \left(\frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x - x_0}{\alpha}\right) \quad (3.100)$$

La función de distribución acumulada de la distribución Gamma de 2 parámetros se define como:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \int_0^x e^{-\frac{x-x_0}{\alpha}} \left(\frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} dx \quad (3.101)$$

Dónde:

α y β : Parámetros de escala y forma respectivamente.

x_0 : Parámetro de localización.

Estimación de parámetros, método de momentos.

$$\hat{\beta} = \left(\frac{2}{\hat{y}} \right)^2$$

$$\hat{\alpha} = \hat{\sigma} \frac{\hat{y}}{2}$$

$$\hat{x}_0 = \hat{\mu} - \hat{\alpha}\hat{\beta}$$

d. Distribución Log- Pearson tipo III

Se dice que una variable X, tiene una distribución log-Pearson tipo III, si su función densidad de probabilidad es:

$$f_x(x) = \frac{1}{x|\alpha|\Gamma(\beta)} \left(\frac{\ln(x) - y_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left[\frac{\ln(x)-y_0}{\alpha}\right]} \quad (3.102)$$

La función de distribución acumulada de la distribución log-Pearson tipo III se define como:

$$F_x(x) = \int_{x_0}^x \frac{1}{x|\alpha|\Gamma(\beta)} \left(\frac{\ln(x) - y_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left[\frac{\ln(x)-y_0}{\alpha}\right]} dx \quad (3.103)$$

Dónde:

α y β : Parámetros de escala y forma.

x_0 : Parámetro de localización.

Estimación de parámetros, método de momentos.

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= \left(\frac{2}{\hat{y}_y} \right)^2 \\ \hat{\alpha} &= \frac{\hat{\sigma}_y \hat{y}_y}{2} \\ \hat{y}_0 &= \hat{\mu}_y - \hat{\alpha} \hat{\beta} \end{aligned}$$

e. Distribución de Gumbel

La función de densidad de probabilidad de la distribución de Gumbel es definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} \cdot e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}} \quad (3.104)$$

La función de distribución acumulada de la distribución de Gumbel se define como:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}} \quad (3.105)$$

Dónde:

$0 < \alpha < \infty$: Es el parámetro de escala.

$-\infty < \beta < \infty$: Es el parámetro, llamado también valor central o moda.

Estimación de parámetros, método de momentos

$$\begin{aligned} \hat{\mu} &= \bar{x} - 0.45.S \\ \hat{\alpha} &= 0.78.S \end{aligned}$$

3.6.2. Determinación de máximas avenidas en función de la Precipitación Máxima en 24 horas – Método del Soil Conservation Service (SCS)

La aplicación del Método del Soil Conservation Service consiste en un balance hidrológico diario, semanal, mensual o anual la base es usar la precipitación en 24 horas (P)

Este método, desarrollado por el SCS, también llamado del “número de curva” consta de dos partes. En la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escorrentía resultante de una precipitación - escurrimiento directo, en la segunda se determina el tiempo de distribución del escurrimiento.

El método del número de curva [CN] se desarrolla en base a datos de precipitación y escorrentía de 24 horas. Esto mismo limita el cálculo de la precipitación efectiva [Pe], y no toma explícitamente en consideración las variaciones temporales de intensidad de lluvia. Una herramienta que permite transformar los datos de lluvia en caudal, es la que introdujo Sherman y la denominó Hidrograma unitario de una cuenca.

La ecuación que permite calcular la precipitación efectiva se basa en una hipótesis que relaciona dos cantidades reales y dos cantidades potenciales, la ecuación (3.106) expresa en términos del número de curva y de la precipitación total.

$$P_e = \frac{(CN(P + 2) + 200)^2}{CN[CN(P - 8) + 800]} \quad (3.106)$$

Para el cálculo de según el Método del Soil Conservation Service, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3.107)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3.108)$$

Dónde:

Q: Lámina de exceso de lluvia.

S: Lámina potencial de retención en la cuenca.

P: Lámina de precipitación acumulada.

CN: Curva numero

Donde S se estima a partir del número curva (Ver ecuación 3.108), de los cuales el valor de CN depende de lo siguiente:

- Cubierta vegetal.
- Uso de suelo.
- Grupo de suelo Hidrológico (Tipo de suelo): A, B, C y D.

Siendo:

Grupo A: Arenas con poco limo y arcilla, suelos muy permeables.

Grupo B: Arenas finas y limos

Grupo C: Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla

Grupo D: Arcillas en grandes cantidades, suelos muy permeables.

Cuadro 3.6: Valores de la Curva Numero (CN) para la Aplicación del Método del Hidrógrafa Sintético del SCS.

TIPO DE VEGETACION	TRATAMIENTO	CONDICION HIDROLOGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	91
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos Alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80

TIPO DE VEGETACION	TRATAMIENTO	CONDICION HIDROLOGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral - herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	=< 30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos aprovechamientos silvopastorales	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy Pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy Buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Camino en tierra	-	-	72	82	87	89
Camino con firme	-	-	74	84	90	92

Significado de las abreviaturas:

CR = Con cubierta de residuos vegetales que ocupen al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año

R = Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc) se realizan en línea recta sin considerar la pendiente del terreno

C = Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nivel

T = Si se trata de terrenos aterrazados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

Fuente: US Soil Conservation Service 1982

4. MATERIALES Y METODOS

En el presente capítulo hace referencia a la ubicación del área donde se realizó el trabajo de investigación, y se explica de una forma detallada la metodología para alcanzar los objetivos propuestos.

4.1. MATERIALES

4.1.1. DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio situada en Microcuenca del Río Chavini, hidrográficamente se encuentra desarrollada sobre la cuenca del Rio Perene, delimitado desde el punto comprendido del emplazamiento de la Bocatoma Chavini (Ver Figura 4.2) con una extensión de 54 Km².

Políticamente la Bocatoma se encuentra ubicada en las siguientes referencias (Ver Figura 4.1 y Plano N°01) en:

Región : JUNÍN
Departamento: JUNÍN
Provincia : SATIPO
Distrito : SAN MARTIN DE PANGOA

Geográficamente la Bocatoma Chavini se ubica en las siguientes coordenadas UTM.

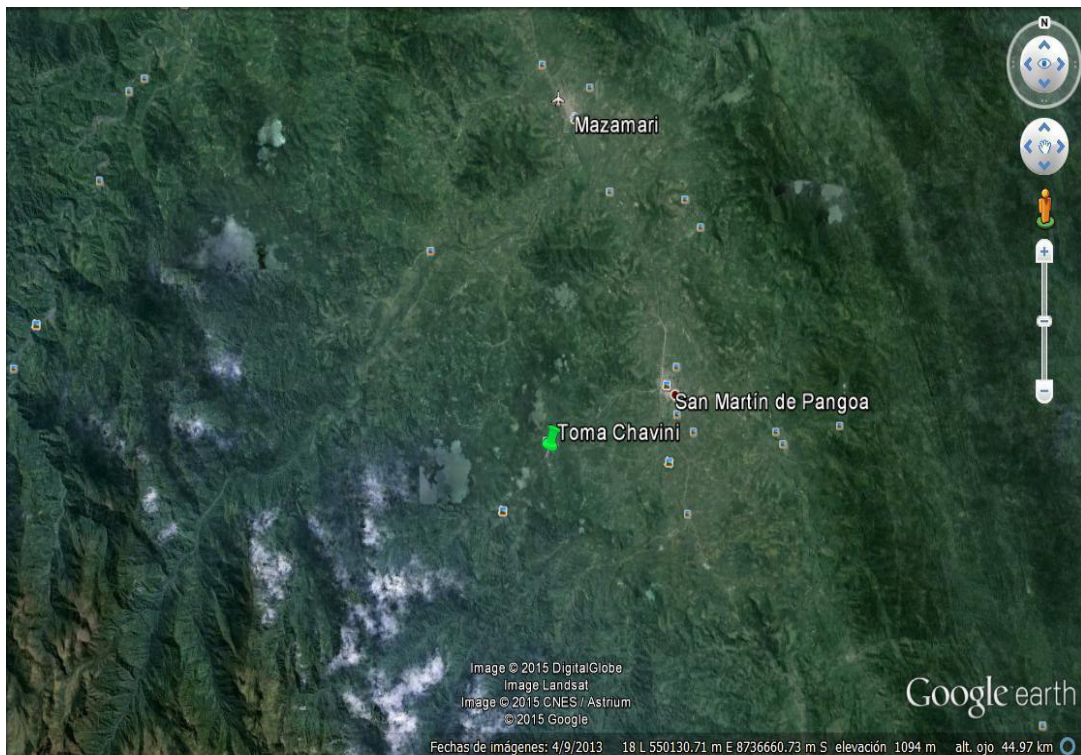
Norte : 550116.58 m
Este : 8733683.30 m

Figura 4.1: Macro Localización de la zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.2: Localización de la Bocatoma Chavini

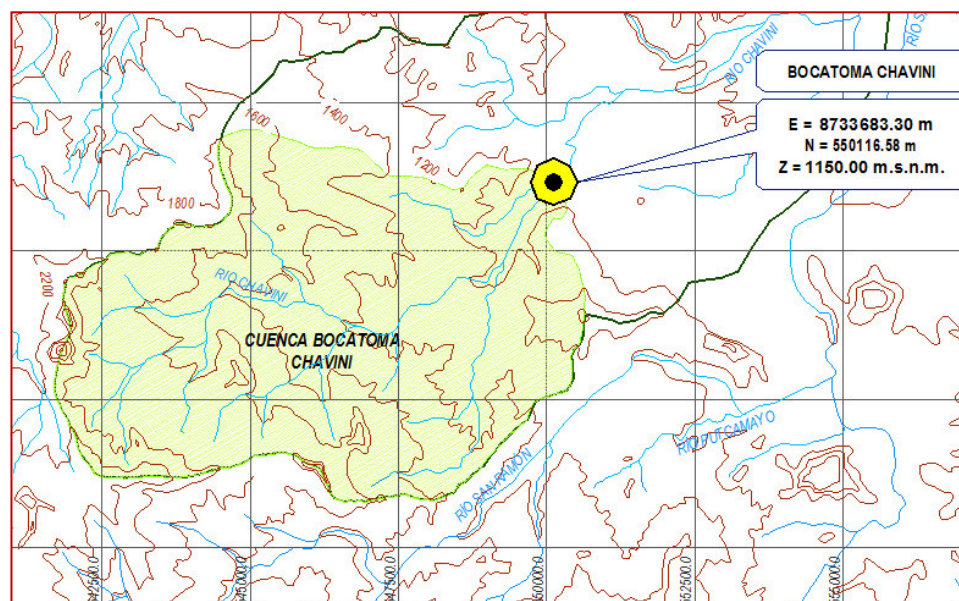


Fuente: Google Earth, Ubicación de Bocatoma

4.1.1.1. Ubicación y límites

El área de influencia del proyecto de Irrigación Chavini, se ubica en el Distrito de San Martín de Pangoa, Provincia de Satipo, Departamento de Junín. La Bocatoma del Proyecto de Irrigación se encuentra en las nacientes del río Chavini a 1150 msnm, siendo este afluente el río San Ramón (Ver Figura 4.3 y Plano N°02).

Figura 4.3: Delimitación del Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

El Proyecto de Irrigación Chavini, está ubicado en el distrito de Pangoa, provincia de Satipo, departamento de Junín. Aprovecharía los recursos hídricos superficiales del río Chavini, para el riego de aproximadamente 1824 has, ubicadas en la margen derecha de este río.

4.1.1.2. Vías de acceso

Políticamente se encuentra ubicado en la Provincia de Satipo, se conecta por medio de las carreteras afirmadas. A su vez existen trochas carrozables que conectan a cada una de la Comunidades pertenecientes a las zonas aledañas al proyecto (Distritos Villa Rica, Mazamari)

El tiempo de viaje desde la Ciudad de Satipo hasta el Distrito de San Martín de Pangoa es aproximadamente de 1.5 horas, se presentan a continuación las siguientes rutas de acceso, Ver Cuadros 4.1 y 4.2.

Cuadro 4.1: Acceso a San Martín de Pangoa

N	INFRAESTRUCTURA DE RIEGO	TIPO DE ACCESO	DISTANCIA
1	LIMA-TARMA	ASFALTADO	244 Km
2	TARMA- LA MERCED	ASFALTADO	73 Km
3	LA MERCED- SATIPO	ASFALTADO	80 Km
4	SATIPO- SAN MARTIN DE PANGOA	ASFALTADO Y AFIRMADO	32 Km

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.2: Acceso a la Bocatoma Chavini

N	INFRAESTRUCTURA DE RIEGO	TIPO DE ACCESO	DISTANCIA
1	SAN MARTIN DE PANGOA- RUMBO CP PALESTINA	CARROZABLE	5.90 Km
2	CP PALESTINA- INGRESO A LA HIDROELECTRICA	CARROZABLE	2.10 Km
3	INGRESO A LA HIDROELECTRICA PALESTINA- BOCATOMA CHAVINI	CAMINO HERRADURA	0.48 Km

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

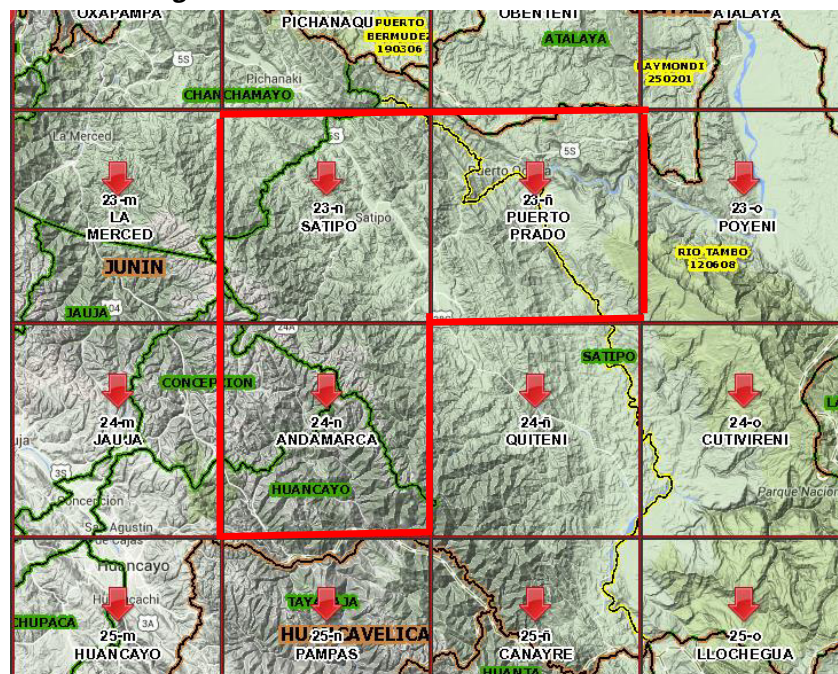
- a) Estudio SNIP de Pre - Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa. Elaborado por la consultora ATA S.A., para el Proyecto Especial Pichis Palcazú (PEPP) del Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), Ministerio de Transportes, Vivienda y Construcción, año 2003.

- b) Estudio SNIP de Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa. Elaborado por la Consultora Agua y Agro Consultores Asociados S.A., para el Proyecto Especial Pichis Palcazú (PEPP) del Gobierno Regional de Junín, año 2011.

4.1.3. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA

Para el desarrollo de la presente investigación, también se adquirió cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN). De la información cartográfica disponible corresponde a Cartas Nacionales IGN a escala 1:100 000 (**Cartas Nacionales 23-ñ denominada Puerto Prado, Carta Nacional 24-n denominada Andamarca y Carta Nacional 23-n denominada Satipo**). Ver Figura 4.4.

Figura 4.4: Cartas Nacionales del IGN

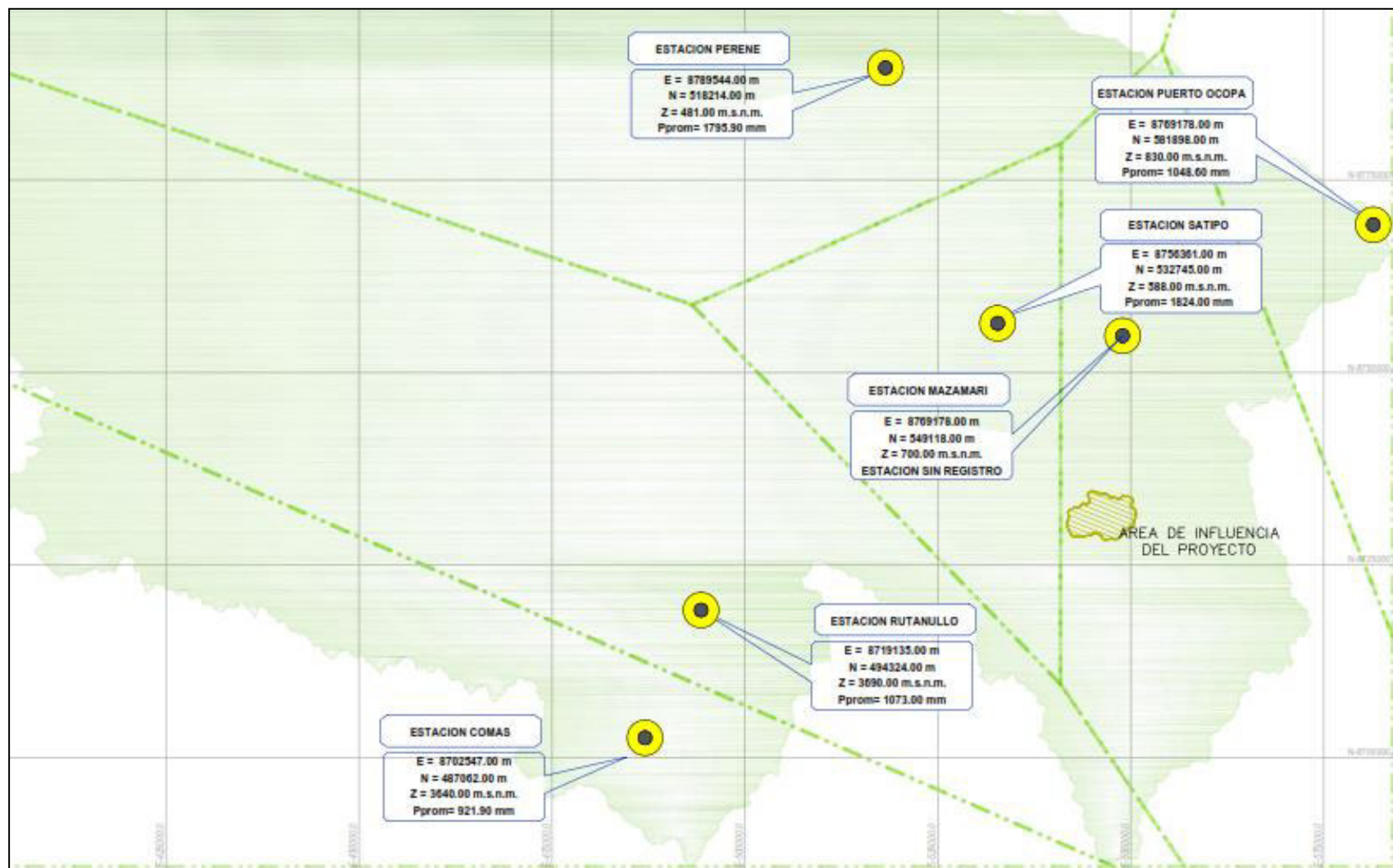


Fuente: MINEDU

4.1.4. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DISPONIBLE

Como se observa en la Figura 4.5, dentro de las cuencas colectoras al área del proyecto existen estaciones meteorológicas, sin embargo muchas de estas no son operativas. Las estaciones meteorológicas disponibles y cercanas a la zona de estudio, son las estaciones Satipo y Puerto Ocopa, el cual se detallan en el Ver Plano N°04.

Figura 4.5. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia - Estaciones Hidrometeorológicas- SENAMHI

La estación Satipo de acuerdo a los parámetros se clasifica como una estación meteorológica de 3er orden e Hidrológica de 4to orden, la misma que registra información de precipitación total mensual, temperatura media mensual, temperatura mínima mensual, temperatura máxima mensual, humedad relativa, y evaporación total mensual, así mismo se tiene información de precipitación total mensual en la estación Puerto Ocopa.

Se ha considerado a la estación Satipo, como la estación representativa de la zona de estudio, porque presenta un mejor comportamiento de sus variables registradas a comparación de la Estación Puerto Ocopa, por lo tanto la información de precipitación de la estación Puerto Ocopa servirán para efectuar los análisis de los datos de precipitación de la estación Satipo.

En el Cuadro 4.3 se muestra la información hidrometeorológica con que se cuenta en las estaciones antes mencionadas, períodos de tiempo de esta información y las fuentes de origen de la misma.

Cuadro 4.3: Información Hidrometeorológica Histórica disponible en las Estaciones Satipo y Puerto Ocopa

ESTACION SATIPO

	Estudio	Empresa	Período	Fuente
Precipitación total mensual	Estudio de Pre Factibilidad Sistema Irrigación Pangoa	ATA S.A.C. Ay A	1964 - 1982 1991 - 2009	Proyecto Irrigación Mazamari SENAMHI
Temperatura media mensual	Estudio de Pre Factibilidad Sistema Irrigación Pangoa	ATA S.A.C. Ay A	1964 - 1976 1991 - 2009	Proyecto Irrigación Mazamari SENAMHI
Temperatura mínima media mensual		Agua y Agro Consultores Asociados S.A.C.	1964 - 2009	SENAMHI
Temperatura máxima media mensual		Agua y Agro Consultores Asociados S.A.C.	1964 - 2009	SENAMHI
Humedad relativa media mensual	Estudio de Pre Factibilidad Sistema Irrigación Pangoa	ATA S.A.C.	1964 - 1976 1996 - 2009	Proyecto Irrigación Mazamari SENAMHI
Evaporación Total Mensual	Estudio de Pre Factibilidad Sistema Irrigación Pangoa	ATA S.A.C.	1964 - 1982 1989 - 1999	Proyecto Irrigación Mazamari SENAMHI

ESTACION PTO. OCOPA

	Estudio	Empresa	Período	Fuente
Precipitación total mensual	No se menciona el nombre del estudio	Agua y Agro Consultores Asociados S.A.C.	1964 - 1980 1981 - 2009	No se menciona la fuente SENAMHI

Fuente: Elaboración propia con información disponible

En el Cuadro 4.4 muestra el Diagrama de Barras de la información hidrometeorológica registrada de las estaciones Satipo y Puerto Ocopa.

Cuadro 4.4: Diagrama de Barras de la Información Hidrometeorológica Histórica de las Estaciones Satipo y Puerto Ocopa

ESTACION SATIPO

Información	Estacion	Desde	Hasta	19..																				
				64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Precipitación Total	CO. Satipo	1964	2009																					
Temperatura Media	CO. Satipo	1964	2009																					
Temperatura Mínima	CO. Satipo	1964	2009																					
Temperatura Máxima	CO. Satipo	1964	2009																					
Humedad Relativa	CO. Satipo	1964	2009																					
Evaporación	CO. Satipo	1964	2009																					

ESTACION PTO. OCOPA

Precipitación Total	CO. Pto. Ocop	1981	2009																					
---------------------	---------------	------	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ESTACION SATIPO

Información	Estacion	Desde	Hasta	19..													200..									
				87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Precipitacion Total	CO. Satipo	1964	2009																							
Temperatura Media	CO. Satipo	1964	2009																							
Temperatura Mínima	CO. Satipo	1964	2009																							
Temperatura Maxima	CO. Satipo	1964	2009																							
Humedad Relativa	CO. Satipo	1964	2009																							
Evaporación	CO. Putina	1964	2009																							

ESTACION PTO. OCOPA

Precipitación Total	CO. Pto. Ocop	1981	2009																						
---------------------	---------------	------	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con información disponible

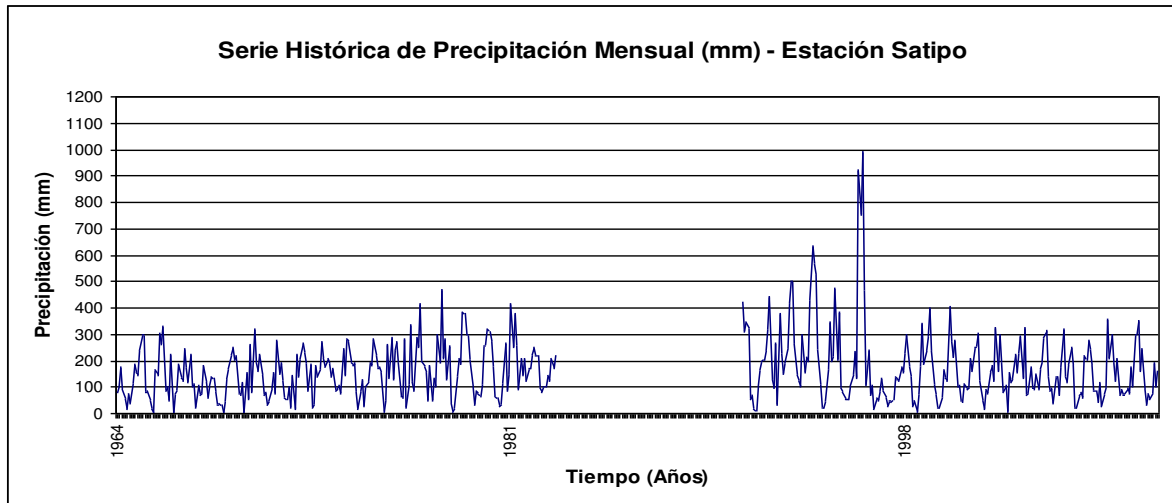
Se debe resaltar que la única institución reconocida, que proporciona esta información es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), organismo público adscrito al Ministerio de Medio Ambiente, e integrante de la Organización Mundial de Meteorología (OMM), razón por la cual cumple con los estándares de monitoreo, adquisición, medición y tratamiento de datos meteorológicos en el Perú.

4.1.4.1. Estación Satipo

a) Precipitación total mensual

Los registros de precipitación de la estación Satipo, que es administrada por el SENAMHI, cuenta con información del período 1964-1982 y 1991-2009, reportan un valor total anual promedio de 1 994.2 mm; para la serie de 46 años, ver Cuadro 4.5 y Figura 4.6

Figura 4.6: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Satipo



Fuente: Elaboración propia

Para los valores mensuales promedio de la serie, en el periodo lluvioso, octubre a marzo, representa el 70% de la precipitación total anual, siendo enero el mes más lluvioso con 287 mm. El período seco, constituido por los meses de abril a setiembre, presentan el 30% de la precipitación total anual, siendo julio el más crítico con 62.5 mm.

Cuadro 4.5 : Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Satipo

DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' "S"
LONGITUD: 74° 37' "W"
ALTITUD: 660 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	80.3	104.7	173.9	90.5	56	14.1	74.5	37.5	119	189	153.3	142	1234.8
1965	241	296.6	295.5	77.5	82.7	46.5	18	0	167	143	301.5	259	1928.3
1966	332.5	87	101.5	46	222	0	74	90.5	185.5	131	124	246	1640.0
1967	173	115	224	100	111.2	19	105	70	78	179.3	115	59	1348.5
1968	107	138	136	82	31.1	40	30	0	46	134	170.5	223.9	1138.5
1969	249.9	200.6	218.8	74.3	71	116.2	0	153.8	56	262	78	321.7	1802.3
1970	193.9	159	226.3	143.6	71.6	80	31	46.3	95.9	152.3	74.9	277.1	1551.9
1971	147.4	190.6	121.7	57.3	54	99.6	19.9	145.5	16.8	221.4	138.5	209.6	1422.3
1972	265	226.7	187.7	83.4	187.8	23.3	37.1	183.7	138.9	171.3	272.2	208.1	1985.2
1973	176.7	207.7	187	140.9	168.3	84.4	95.5	106.4	73.2	244.2	141.4	285.2	1910.9
1974	273.7	191.3	183.2	194.6	81.4	14	88	125.9	25	98.8	120.2	191.4	1587.5
1975	180.8	281	220.2	173	176.6	156	4.8	55	264	133.6	287.8	128.4	2061.2
1976	241.6	272.8	192.8	64.6	59	281.4	19.2	112.6	335	116	87	285.9	2067.9
1977	252.7	413.6	198.4	174	154	46.4	183.4	48	133.6	103	301.2	191.4	2199.7
1978	468.2	209.8	285.2	125.8	256.8	35.4	5.2	23.2	146.5	209.2	187.6	383.2	2336.1
1979	377.2	298.4	293.6	203.6	99.4	30.2	85.6	75.4	61.8	110	257.8	263.7	2156.7
1980	322.4	309.6	272.4	175.2	61.8	59.2	24.2	36.8	118.2	266.6	87.6	150.6	1884.6
1981	415.2	248.2	377.4	257.4	89.9	206.4	144	208.2	121.2	170.8	170.5	223.9	2633.1
1982	249.9	219.5	216.3	95.4	77.4	102.6	102.6	144	121.2	209.4	170.5	223.9	1932.7
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991	423.5	308.6	344.6	321.4	50.8	69.4	16	8.8	108.8	163.2	198.3	202.6	2216.0
1992	239.8	318.4	444.2	130.4	97.5	269.2	34	377.8	225.6	151.2	193.6	251.2	2732.9
1993	422.6	499.8	495.2	260.6	144.2	120.6	99.6	296.2	155.8	213.8	195.9	431.8	3336.1
1994	634.8	563	520.8	239.6	108	19.6	22.4	49	168.3	347.2	198.6	221	3092.3
1995	473.2	204.6	386.6	98.6	78.2	55.4	55.2	54.2	107.4	150.8	234.4	135	2033.6
1996	923.5	751.9	991.6	463.5	107.1	241.1	67.3	107.4	17.8	56.3	50.3	87.8	3865.6
1997	131.4	86	60	25.1	49.9	41.6	53	136.6	128.5	124.7	174.4	156.9	1168.1
1998	231.7	301.2	175.4	137.4	27.2	47.3	6.1	75.8	183.7	338.9	184.6	240.7	1950.0
1999	294.3	397.7	232.9	107.8	68.1	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	404.2	2039.0
2000	273.7	216	278.1	101.1	108.9	49.6	40.5	112.7	89	100.2	206.9	160.3	1737.0
2001	252	253.5	305.5	121.2	50.5	14.7	90.8	74	158	179.2	120.9	325	1945.3
2002	160	296.4	191	82.4	105.4	5.4	156.1	116.7	135.4	224.2	152.9	229.7	1855.6
2003	295.3	133.5	327.1	70.4	82.4	176.8	94.1	91	151.1	92.1	169.9	195.2	1878.9
2004	286.3	313.4	141.1	87.6	96.8	39.5	140.5	138.4	69.3	176.2	321	139.2	1949.3
2005	117.5	185.5	248.7	182.4	22.4	22.4	71	81.9	61.2	218.7	200.1	279.6	1691.4
2006	237.8	180.5	84.8	85.9	41.8	117.4	27	77.1	101	354.7	208.6	301	1817.6
2007	192.6	125.1	210.4	69.5	89.9	67.5	72.3	97	73.1	175.6	99	299.7	1571.7
2008	304.6	349.6	161.9	246	88.2	33.1	76	55.3	81.8	190.9	100.7	162.7	1850.8
2009	264.7	253.4	176.4	84.3	127.1	76.4	87.7	25.6	97.1	186.7	200.2	266.2	1845.8
Promedio	287.0	260.7	260.2	138.8	96.2	77.4	62.5	97.4	120.6	179.6	173.0	230.6	1984.2
Desvest	155.5	133.8	160.7	87.2	52.5	73.1	45.9	75.7	65.3	69.2	68.0	82.0	556.1
Máximo	923.5	751.9	991.6	463.5	256.8	281.4	183.4	377.8	335.0	354.7	321.0	431.8	3865.6
Mínimo	80.3	86.0	60.0	25.1	22.4	0.0	0.0	0.0	16.8	56.3	50.3	59.0	1138.5
(%)	14.5	13.1	13.1	7.0	4.8	3.9	3.1	4.9	6.1	9.1	8.7	11.6	100.0

Fuente: 1964 -1982 Proyecto Irrigación Mazamari
1991-2009 SENAMHI

b) Precipitación máxima en 24 horas

Para este rubro se usa la información registrada por la estación Satipo, que se ha hecho extensiva para la cuenca del río Chavini, específicamente para el punto de ubicación de la bocatoma. En el Cuadro N° 4.6, se presenta el diagrama de barras de la información de precipitación máxima en 24 horas registrada en la estación Satipo.

Cuadro 4.6: Diagrama de Barras de Información de Precipitación Máxima en 24 Hora Estación Satipo

Información	Estacion	Desde	Hasta	19..																					
				64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
Precip.Max. 24 Hrs	Satipo	1964	1986																						

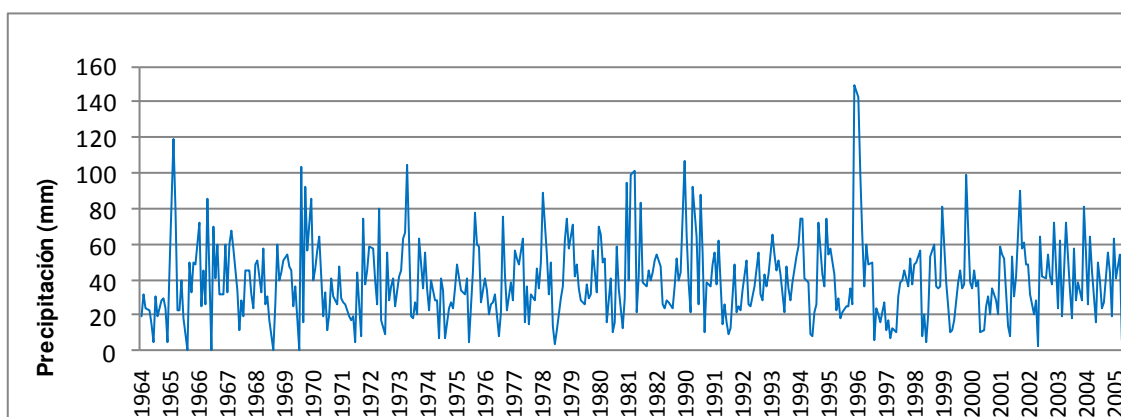
Información	Estacion	Desde	Hasta	19..														200.										
				87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Precip.Max. 24 Hrs	Satipo	1987	2009																									

Fuente: Elaboración propia.

La información de precipitación máxima en 24 horas histórica registrada en la estación de Satipo se muestra en el Cuadro C.1 del Anexo C. De la inspección de esta información, resulta que no cuenta con datos para todo el período 1983-1989, y de igual forma carece de información en varios meses para los años 1967, 1968, 1969, 1981 y 1982.

En los análisis de la información no ha sido considerado el período 1983-1989, mientras que los datos puntuales faltantes de los años 1967, 1968, 1969, 1981 y 1982 fueron completados con el promedio histórico del período 1964-2009. En el Figura 4.7, se muestra la serie histórica de precipitación máxima en 24 horas completada de la estación Satipo.

Figura 4.7: Serie Histórica de Precipitación Máxima en 24 Horas Completada Estación Satipo



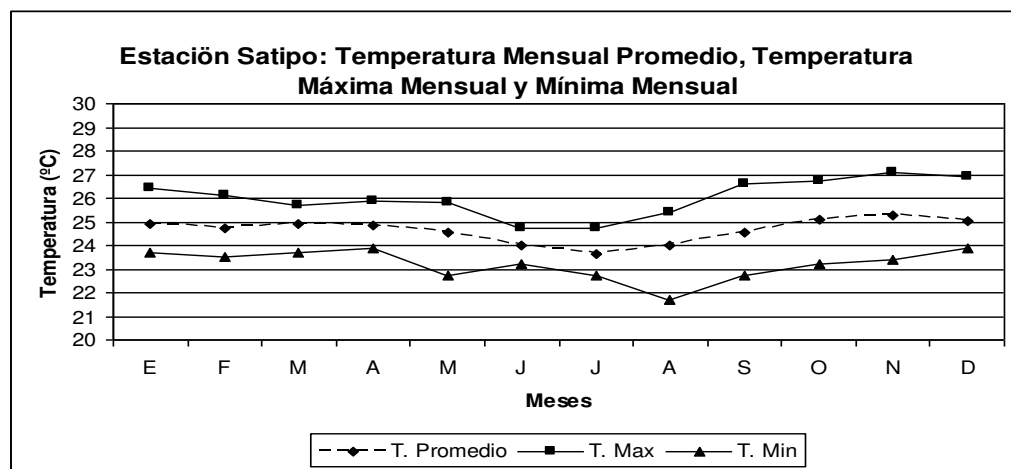
Fuente: Elaboración Propia

c) Temperatura media mensual

La temperatura media anual promedio registrada en la estación Satipo, para el período 1964–1976 y 1991–2009, es de 24.6 °C, fluctuando entre los 23.6 y 25.3 °C. Ver Cuadro 4.7, y en la Figura 4.8 se presenta la variación de la temperatura promedio mensual y la temperatura mensual máxima y la temperatura mensual mínima.

En general, la oscilación anual y mensual es poca, es decir se presentaría una temperatura uniforme a lo largo del año en el área del proyecto.

Figura 4.8: Estación Satipo: Variación de la Temperatura media mensual (°C)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.7: Temperatura Media Mensual (°C) – Estación Satipo

DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' "S"
LONGITUD: 74° 37' "W"
ALTITUD: 660 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1964	26.4	26.1	25.4	25.8	24.9	24.2	23.3	24.7	25.3	25.5	25.2	25.4	25.2
1965	25.2	25.1	25.3	25	25.8	24.6	24	25.1	25	25.9	25.4	25.2	25.1
1966	26.1	25.6	25.7	24.9	24	24.1	23	23.5	24.5	24.8	25.6	24.8	24.7
1967	24.8	24.2	23.9	24.3		23.5		23.3	24.4	24.4	25.8	25.4	24.4
1968	24.2	24.5	24.1	24.9	23.7	23.5	23.4	24	24.7	25.2			24.2
1969				25.2	25.6	24.7	24.6	25.2	26.6	26.6	27.1	26.6	25.8
1970	26.4	25.6	25.4	24.4	25.2	24.2	23.1	24.6	25	25.3	25.6	24.6	25.0
1971	24.7	23.9	25.2	24.7	24.2	23.3	23.1	24	24.7	24.8	25.7	24.3	24.4
1972	24.1	24.9	25	25.1	25.2	24.4	23.9	24.3	24.6	25	25.2	25.8	24.8
1973		24.9	25.1	25.2	25.1	24.2	23.7	24.2	24.4	24.4	25	24.7	24.6
1974	25.5	24	24.8	24.8	24.5	24.3	23		24.8	24.8	25.5	25.2	24.7
1975	24.8	24.5	25.1	24.1	24.6	24.1	23.3	24.2	24.4	25.3	25	24.9	24.5
1976	24.8	24.4	25.1	25.1	24.6	23.9	23.4	23.6	24.1	25.6	25.6	25.2	24.6
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991	24.8	24.6	24.8	24	24.3	24.1	24.7	21.7	22.7	23.2	23.5	24.7	23.9
1992	25.4		25.3	24.9	25.1	23.5	22.7	21.7	22.8	24.2	23.9	24.1	24.0
1993	24.3	24.8	24.8										24.6
1994													
1995	24.4	24.7	23.9	24.2	22.7	23.2	22.8	25.4	25.5	26.3	26.7	26.9	24.7
1996	25.1	25.7	25.7	25.4	25.2	24.1	23.5	24.7	26	26.7	26.6	25.8	25.4
1997	25.4	24.7	25.6	25.9	25.2	24.4	24.6	23.6	25.1	25.6	25.8	25.3	25.1
1998	25.6	25.6	25.7	25.4	24.7	23.7	24.4	25	25.1	25.2	24.8	25	25.0
1999	24	24.2	23.7	23.9	23.6	23.7	23.3	23.9	24.2	23.8	23.4	23.9	23.8
2000	23.9	24.1	24.2	24.3	24.6	24.3	23	23.8	24	24.2	25.2	24.5	24.2
2001	23.7	23.5	23.8	24.3	24.3	23.4	24	24	24.6	25.5	25.3	25.3	24.3
2002	25.1	24.4	24.7	25.2	24.6	23.9	23.4	23.9	24	25.1	24.9		24.5
2003	25.3	25.2	25.2	24.8	24.6	24.6	23.7	23.7	24.4	25.5	25.5	25	24.8
2004	25.3	24.7	25.3	25.4	23.9	23.2	23.4	22.9	23.5	25	24.9	24.9	24.4
2005	24.9	24.9	24.8	25.2	25	24.5	23.6	24	24.2	25	25.2	24.9	24.7
2006	24.9	24.7	25	25	23.9	24.4	23.8	24.3	24.7	25.1	25.2	25.1	24.7
2007	25.4	25	25	25.1	24.2	24.5	23.9	24.1	24.5	24.8	24.7	24.5	24.6
2008	24.4	24.7	24.9	24.9	24.3	24	24.2	24.6	24.6	24.9	25.4	24.5	24.6
2009	24.2	24.2	24.8	24.9	24.7	23.7	23.8	24.6	24.6	25.3	25.2	24.5	24.5
Promedio	24.9	24.7	24.9	24.9	24.6	24.0	23.6	24.0	24.6	25.1	25.3	25.0	24.6
Máximo	26.4	26.1	25.7	25.9	25.8	24.7	24.7	25.4	26.6	26.7	27.1	26.9	25.8
Mínimo	23.7	23.5	23.7	23.9	22.7	23.2	22.7	21.7	22.7	23.2	23.4	23.9	23.8

Fuente: 1964 -1976 Proyecto Irrigación Mazamari
1991-2009 SENAMHI

d) Temperatura mínima media mensual

La temperatura mínima media anual promedio registrada en la estación Satipo para el período 1964–1993, es de 17.7 °C, fluctuando entre los 15.1 y 18.5 °C. Ver Cuadro 4.8 y Figura 4.9.

Cuadro 4.8: Temperatura Mínima Mensual (°C) – Estación Satipo

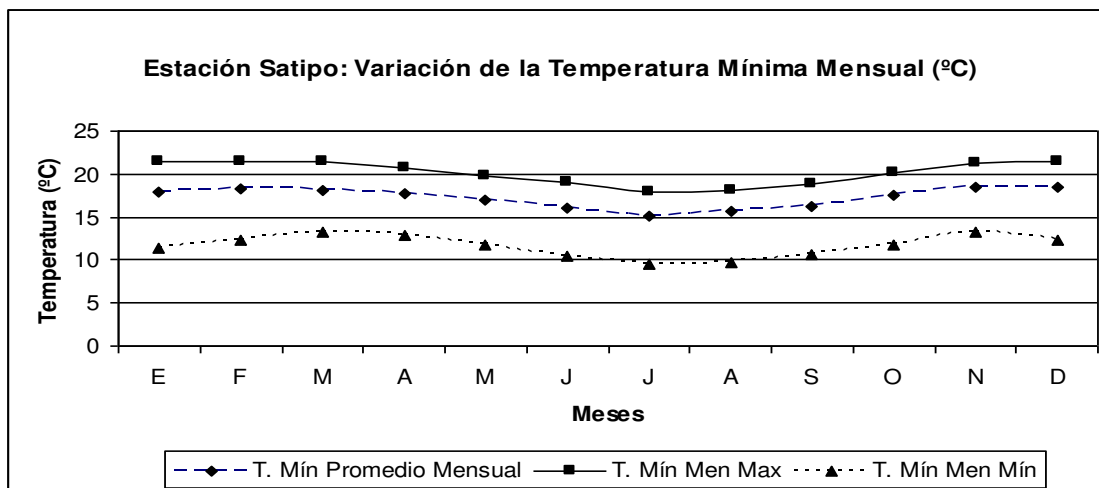
DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' "S"
LONGITUD: 74° 37' "W"
ALTITUD: 660 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1964	20.4	20.2	19.9	19.7	18.6	16.3	15.4	16.7	17.4	17.8	18.5	17.7	18.2
1965	17.3	19.4	18.6	18.9	19.8	17.8	15.8	15.5	18.3	19.1	18.9	19.8	18.3
1966	19.9	19.7	18.6	17.9	18.4	17.1	15.2	15.5	16.2	17.7	17.6	17.6	17.6
1967	17.4	17.1	17.1	17.1		16.3	15.0	15.3	16.3	17.2	17.6	17.6	
1968	17.8	19.0	17.6	17.4	15.9	15.5	15.7	17.2	17.0	17.5			
1969				14.8	13.9	13.5	12.0	11.8	13.0	13.3	13.2	13.5	
1970	13.8	13.2	13.2	12.9	11.9	10.6	9.5	9.7	10.6				
1971	11.3				11.8		10.5	11.1	11.2	12.2		12.3	
1972	13.5	12.4	13.4	13.1	11.8	10.5			11.0	11.7			
1973													
1974													
1975	17.0	16.4	16.2	14.8	14.2	11.9	12.4	14.7	14.0	14.9	15.2	15.2	14.7
1976	15.1	14.4	15.3	14.9	14.4	14.2	13.1	14.0	14.6	15.2	15.7	15.6	14.7
1977	14.4	13.7	13.9	13.9	13.7	13.4	13.1	12.9	13.7	14.3	14.4	14.5	13.8
1978	14.0	14.7	14.4	14.1	13.1	11.7	14.8	15.9	18.2	20.2	20.5	20.7	16.0
1979	19.9	19.7	20.0	19.0	18.9	17.4	17.1	18.1	18.8	19.8	21.3	21.0	19.3
1980	20.7	20.3	19.0	19.3	18.6	18.4	17.6	17.6	18.6	18.3	20.1	18.9	19.0
1981	20.1	19.4	19.3	19.6	17.9	18.2	15.9	16.9					
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989	15.5	16.2	17.7	17.3	18.1	14.9	13.8	14.8	15.3	16.4	17.6	17.2	16.2
1990	15.8	16.4	16.1	15.9	15.8	15.0	12.8	14.5	15.3	17.8	19.2	18.8	16.1
1991	18.4	18.6	19.0	17.8	17.8	17.4	14.6	13.7	14.8	15.3	15.8	17.6	16.7
1992	18.9	18.3	19.0	18.4	18.4	16.2	15.4	14.7	15.3	16.9	16.7	17.0	17.1
1993	16.2	17.0	16.8	16.3	14.0	12.4	12.5	13.2	14.3	13.2			
1994													
1995	14.3	14.8	14.1	14.5	13.5	13.2	12.7	13.3	13.7	14.5	15.2	14.7	14.0
1996	12.9	16.8	17.3	16.6	15.7	16.9	15.6	17.5	18.1	19.5	19.1	19.8	17.2
1997	19.8	18.8	20.3	19.8	19.1	18.4	17.0	17.8	18.4	20.0	20.8	21.4	19.3
1998	21.5	21.5	21.5	20.8	18.9	17.5	16.7	18.1	18.6	20.2	20.3	20.3	19.7
1999	20.2	20.3	20.4	19.8	18.9		14.7	14.1	18.1	18.1	17.5	19.7	
2000	19.8	20.0	19.9	19.5	19.2	18.5	16.1	16.7	17.6	17.6	19.1	18.9	18.6
2001	19.0	18.8	17.7	15.4	18.9	16.7	17.7	16.3	18.0	19.6	20.1	20.0	18.2
2002	20.1	20.0	20.2	20.2	19.2	17.6	17.4	16.9	18.2	19.6	19.6	20.7	19.1
2003	21.0	20.6	20.5	19.8	18.8	18.4	17.5	18.0	17.8	19.5	20.2	20.9	19.4
2004	20.6	20.6	20.8	20.3	19.2	17.4	18.0	16.4	17.5	19.8	19.7	20.0	19.2
2005	19.9	20.0	20.5	20.7	19.2	17.3	15.8	16.9	17.8	19.4	19.5	20.2	18.9
2006	20.4	20.4	19.8	19.7	17.7	19.0	16.5	17.1	18.3	20.1	20.5	20.7	19.2
2007	21.0	20.9	20.3	20.0	18.6	18.2	17.3	17.3	17.5	18.9	19.5	20.2	19.1
2008	20.5	19.7	19.6	19.3	18.5	17.6	16.7	17.7	17.7	19.6	20.2	20.1	18.9
2009	19.7	19.5	20.4	19.8	19.4	17.8	17.4	18.1	17.2	18.7	19.5	19.8	18.9
Promedio	17.9	18.2	18.2	17.7	16.9	16.0	15.1	15.6	16.2	17.5	18.4	18.5	17.7
Máximo	21.5	21.5	21.5	20.8	19.8	19.0	18.0	18.1	18.8	20.2	21.3	21.4	19.7
Mínimo	11.3	12.4	13.2	12.9	11.8	10.5	9.5	9.7	10.6	11.7	13.2	12.3	13.8

Fuente: 1964 -2009 SENAMHI

Figura 4.9: Estación Satipo: Variación de la Temperatura mínima mensual (°C)

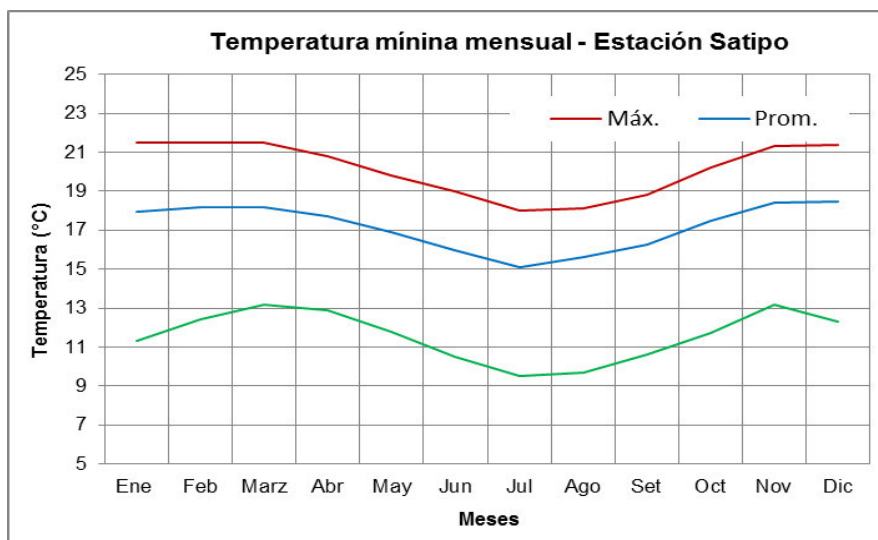


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.10 se muestra la variación de la temperatura mínima media mensual con sus variaciones máximas y mínimas. Se puede observar que las oscilaciones anual y mensual son pequeñas, es decir, en el área de estudio se presenta una temperatura mínima uniforme a lo largo del año. En el Cuadro A.3 del Anexo A, se adjuntan los datos de temperatura mínima media mensual.

Se observa que la oscilación anual y mensual es poca, es decir se presentaría una temperatura mínima uniforme a lo largo del año en el área de estudio.

Figura 4.10: Temperatura mínima mensual (°C) – Estación Satipo.



Fuente: Elaboración Propia.

e) Temperatura máxima mensual

En la estación Satipo se registra la temperatura máxima mensual, siendo el período de registro 1964-2009. Para este período la temperatura máxima media anual promedio es de 32.7 °C, fluctuando entre los 32.2 y 33.6 °C. Ver Cuadro 4.9 y Figura 4.11.

Cuadro 4.9: Temperatura Máxima Media Mensual (°C) – Estación Satipo

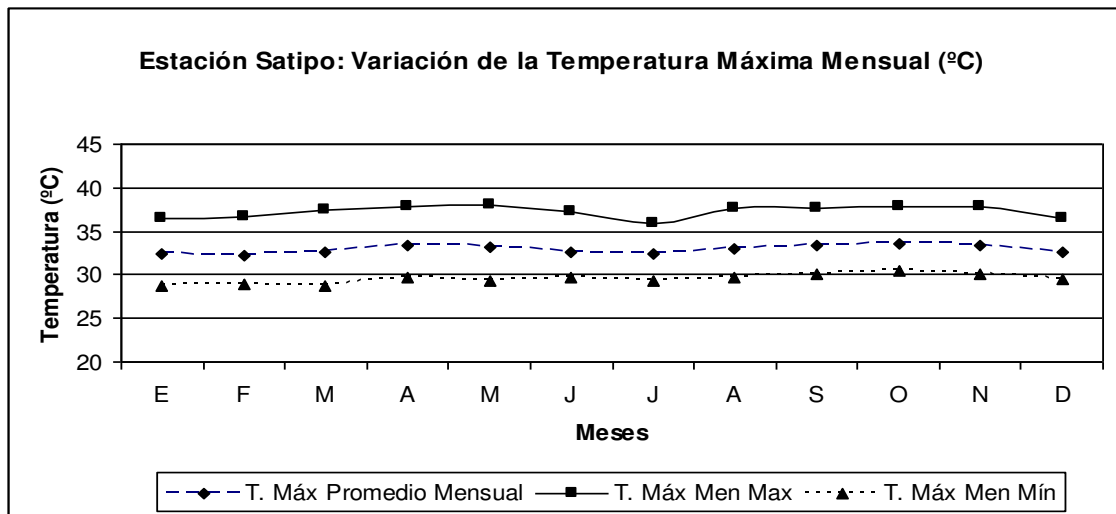
DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' "S"
LONGITUD: 74° 37' "W"
ALTITUD: 660 msnm

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1964	34.1	33.0	32.1	33.6	33.4	33.0	31.6	33.2	33.6	33.3	32.8	32.2	33.0
1965	32.5	31.2	32.8	33.5	33.1	32.4	32.4	33.7	33.4	33.8	33.8	32.2	32.9
1966	34.1	33.2	33.0	33.3	31.8	32.7	32.3	32.9	33.8	33.9	34.5	31.8	33.1
1967	32.6	31.2	30.7	32.6		31.8	31.0	32.5	33.5	32.7		33.3	
1968	32.4	32.4	32.7	33.9	32.8	32.2	32.8	32.8	33.1	33.3	37.2		
1969				36.8	37.2		35.8	37.6	37.1	36.6	35.3	36.2	
1970	35.2	35.4	33.4	35.3	33.2	34.1	32.6	34.6	34.9	34.8	35.2	33.5	34.4
1971	32.8	31.1	33.5	33.0	33.3	32.4	32.7	33.8	35.0	34.3	35.0	33.9	33.4
1972	33.4	34.8	35.3	34.5	34.9	34.5	34.6	34.3	34.8	35.1	33.0	34.8	34.5
1973	33.8	33.0	33.5	34.3	34.6	33.0	32.3	32.2	34.1	33.5	34.5	31.9	33.4
1974	30.8	31.0	33.0	33.0	33.4	33.0	32.1	32.0	34.3	34.3	33.8	33.7	32.9
1975	33.5	32.8	33.9	34.1	33.4	33.1	33.1	34.1	33.8	34.8	34.2	33.4	33.7
1976	32.7	32.5	34.1	34.2	33.9	33.4	33.9	33.2	33.4	35.0	32.4	33.1	33.5
1977	32.1	32.2	33.2	34.3	32.7	33.0	32.4	33.1	33.3	34.1	34.4	34.0	33.2
1978	32.4	34.5	33.0	33.3	32.8	32.8	32.7	33.0	33.3	34.6	34.5	33.4	33.4
1979	34.2	32.1	32.3	33.5	33.7	32.4	32.1	35.1	34.8	35.3	34.5	33.4	33.6
1980	33.5	32.8	32.0	34.1	34.5	33.7	33.5	34.0	34.3	32.1		32.7	33.4
1981	32.2	31.9	33.9	34.4	33.9	32.6	31.9	32.5					
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989	31.0	33.4	34.8	34.9	35.3	34.3	33.8	34.5	35.4	36.0	35.6	35.2	34.5
1990	33.5	33.6	34.5	34.0	33.0	32.5	32.2	33.4	34.2	34.5	34.9	35.1	33.8
1991	34.4	34.4	34.5	34.6	35.7	35.3	34.1	34.7	35.3	35.5	35.5	36.3	35.0
1992	36.4	35.6	35.8	35.7	36.3	34.8	33.9	33.1	34.5	35.7	35.1	34.9	35.2
1993	35.9	35.9	36.1	36.5	35.6	33.7	33.2	34.6	35.3	35.7			
1994													
1995			34.9	36.0	34.8	35.4	35.2	35.8	35.5	36.1	36.3	36.4	
1996	35.8	36.6	37.5	37.0	37.6	37.2	35.9	36.3	37.6	37.8	37.8	36.0	36.9
1997	35.4	35.0	35.6	37.9	38.0	35.9	34.2	30.6	32.0	31.8	31.1	29.8	33.9
1998	30.8	31.2	31.4	31.2	31.2	30.2	31.7	31.7	31.5	30.5	30.2	29.8	31.0
1999	28.9	29.1	28.8	29.8	29.4	29.8	30.1	31.7	31.5	30.8	31.1	29.7	30.1
2000	28.8	29.0	29.3	29.6	30.6	30.2	30.1	31.5	31.0	31.2	31.7	30.2	30.3
2001	28.8	28.9	29.1	31.1	30.4	29.7	30.8	31.7	31.4	32.3	31.4	31.7	30.6
2002	31.2	29.5	30.0	31.2	30.8	30.7	29.5	31.2	30.5	31.3	30.1	29.5	30.5
2003	30.1	29.9	30.0	30.2	30.2	30.7	29.6	29.6	31.0	31.9	31.4	29.8	30.4
2004	30.9	29.7	30.4	31.1	29.3	29.6	29.3	29.6	30.0	31.1	31.0	30.2	30.2
2005	30.5	30.9	29.9	30.7	31.1	31.3	31.0	31.0	31.2	31.6	32.0	30.5	31.0
2006	30.4	30.3	31.0	31.0	30.8	30.8	31.3	32.2	31.9	31.4	30.4	30.5	31.0
2007	30.4	30.0	30.0	31.3	30.1	31.3	30.6	31.1	31.9	31.7	31.3	30.4	30.8
2008	29.3	30.3	30.8	31.6	30.6	30.2	31.3	31.6	32.1	31.6	32.1	30.2	31.0
2009	29.5	29.3	30.1	30.8	30.8	30.1	30.4	32.2	33.0	33.2	32.1	29.8	30.9
Promedio	32.3	32.2	32.6	33.4	33.1	32.5	32.3	33.0	33.4	33.6	33.4	32.6	32.7
Máximo	36.4	36.6	37.5	37.9	38.0	37.2	35.9	37.6	37.6	37.8	37.8	36.4	36.9
Mínimo	28.8	28.9	28.8	29.6	29.3	29.6	29.3	29.6	30.0	30.5	30.1	29.5	30.1

Fuente: 1964 -2009 SENAMHI

Figura 4.11: Estación Satipo - Variación de la Temperatura máxima mensual (°C)



Fuente: Elaboración propia.

f) Humedad relativa

La humedad relativa media mensual registrada en la estación Satipo, presenta un promedio anual de 80.4%, para el período de registro histórico de 1964-2009, siendo ligeramente mayor entre los meses de enero a marzo, y menor entre abril y diciembre, ver Cuadro 4.10 y Figura 4.12

Cuadro 4.10: Humedad Relativa Media mensual (%) – Estación Satipo

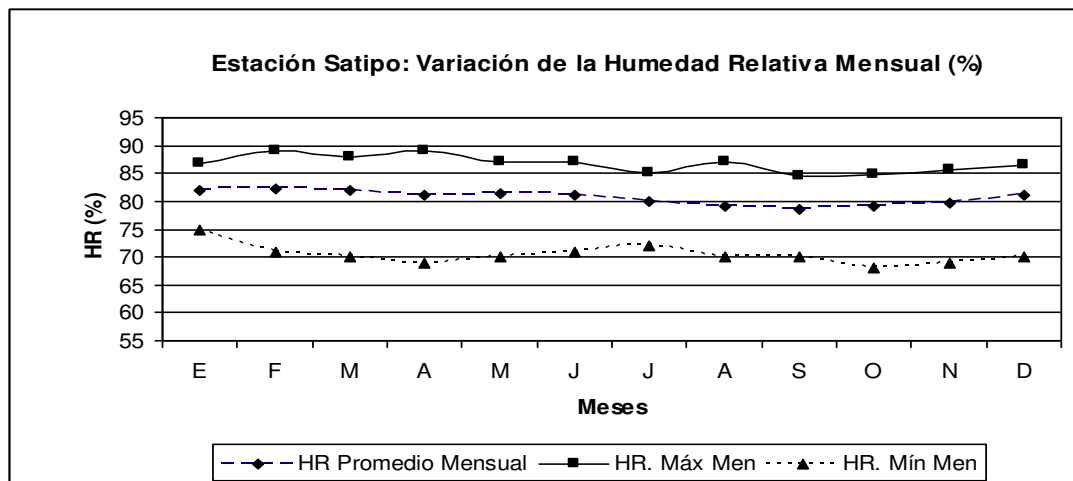
DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' "S"
LONGITUD: 74° 37' "W"
ALTITUD: 660 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1964	77.0	81.0	83.0	82.0	81.0	79.0	80.0	74.0	75.0	79.0	77.0	80.0	79.0
1965	80.0	81.0	78.0	79.0	77.0	77.0	76.0	70.0	77.0	78.0	76.0	79.0	77.3
1966	78.0	80.0	78.0	80.0	83.0	79.0	78.0	79.0	78.0	79.0	77.0	80.0	79.1
1967	81.0	82.0	84.0	82.0		83.0	83.0	80.0		72.0	77.0	80.0	80.4
1968	81.0	82.0	79.0	78.0	77.0	79.0	78.0	78.0	78.0	77.0			78.7
1969				84.0	81.0	82.0	74.0	74.0	75.0	78.0	75.0	78.0	77.9
1970	79.0	83.0	85.0	83.0	85.0	84.0		77.0		83.0	79.0	83.0	82.1
1971	85.0	89.0	81.0	84.0	81.0	84.0	83.0	79.0	77.0	80.0	79.0	74.0	81.3
1972	78.0	71.0	70.0	69.0	70.0	71.0	72.0	72.0	70.0	68.0	69.0	70.0	70.8
1973		73.0	73.0	71.0	72.0	76.0	76.0	73.0	74.0	74.0	75.0	77.0	74.0
1974	78.0	78.0	79.0	78.0	75.0	76.0	77.0		75.0	73.0	75.0	76.0	76.4
1975	77.0	77.0	78.0	76.0	76.0	75.0	75.0	75.0	75.0	74.0	75.0	76.0	75.8
1976	75.0	76.0	75.0	74.0									75.0
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996	79.0	79.0	79.0	75.0	79.0	79.0	80.0	82.0	81.0	81.0	82.0	83.0	79.9
1997	83.0	85.0	86.0	84.0	85.0	87.0	76.0	78.0	75.0	78.0	79.0	84.0	81.7
1998	82.0	83.0	83.0	82.0	79.0	81.0	78.0	75.0	75.0	79.0	83.0	82.0	80.2
1999	85.0	84.0	87.0	85.0	84.0	83.0	83.0	81.0	82.0	84.0	83.0	84.0	83.8
2000	86.0	87.0	88.0	89.0	87.0	85.0	85.0	84.0	84.0	80.0	80.0	82.0	84.8
2001	84.0	85.0	85.0	81.0	84.0	81.0	79.0	76.0	76.0	77.0	82.0	82.0	81.0
2002	83.0	86.0	85.0	84.0	84.0	81.0	81.0	81.0	83.0	81.0	82.0		82.8
2003	86.9	86.0	86.2	86.3	86.9	85.1	85.0	85.5	82.1	80.9	82.8	85.4	84.9
2004	84.3	84.7	84.3	83.8	84.9	84.9	85.1	87.0	84.5	84.7	85.5	86.4	85.0
2005	86.4	85.2	85.6	85.6	85.1	84.2	84.8	85.6	84.6	83.8	85.7	85.3	85.2
2006	84.7	85.3	84.1	83.6	84.0	84.8	84.1	83.6	82.0	83.6	84.0	84.9	84.1
2007	84.0	84.6	83.3	84.3	83.2	82.3	83.4	83.0	82.5	82.3	83.8	83.8	83.4
2008	85.2	83.3	82.9	82.4	83.9	84.6	81.8	81.2	81.7	83.7	82.3	84.3	83.1
2009	84.9	85.8	84.9	83.9	84.1	84.1	83.1	82.2	81.1	81.4	82.7	84.7	83.6
Promedio	81.9	82.2	81.8	81.1	81.3	81.2	80.1	79.0	78.7	79.1	79.7	81.0	80.4
Máximo	86.9	89.0	88.0	89.0	87.0	87.0	85.1	87.0	84.6	84.7	85.7	86.4	85.2
Mínimo	75.0	71.0	70.0	69.0	70.0	71.0	72.0	70.0	70.0	68.0	69.0	70.0	70.8

Fuente: 1964 -1976 Proyecto Irrigación Mazamari
1996-2009 SENAMHI

Figura 4.12: Estación Satipo: Variación de la Humedad Relativa (%)

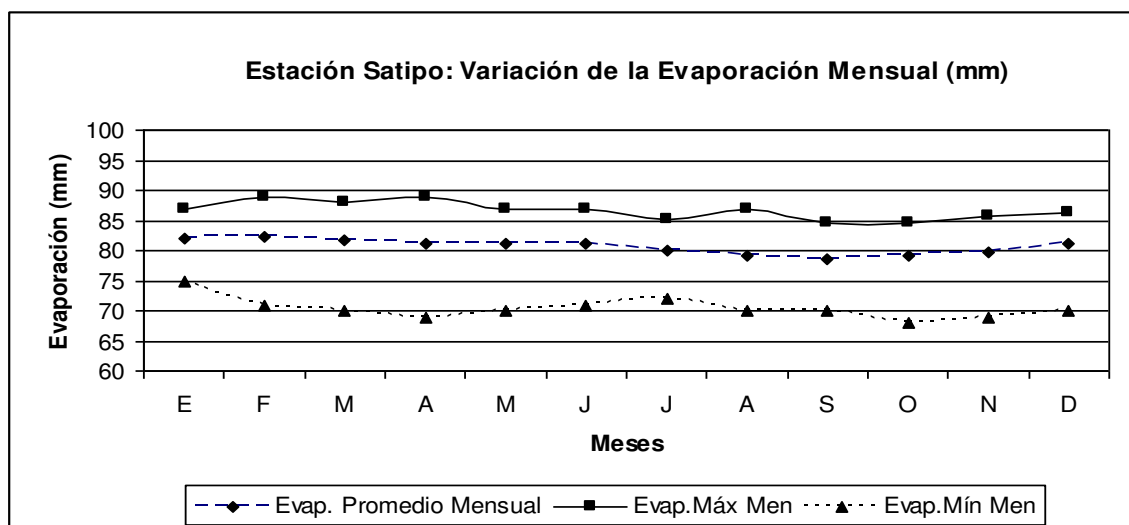


Fuente: Elaboración propia .

g) Evaporación

La evaporación total anual en la estación Satipo es de 535.3 mm, con una distribución mensual en que se puede distinguir dos épocas, una de menor evaporación de diciembre a marzo, que corresponde al 30% del total anual, comprendido en el período lluvioso, y un período de mayor evaporación de abril a noviembre, que corresponde al 70% del total, en correspondencia con el período seco de precipitación, ver Cuadro 4.11 y Figura 4.13.

Figura 4.13: Estación Satipo - Variación de la Evaporación mensual (mm)



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.11: Evaporación Total Mensual (%) – Estación Satipo

DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' "S"
LONGITUD: 74° 37' "W"
ALTITUD: 660 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	42.0	36.4	36.1	39.3	43.1	42.3	44.8	51.9	56.1	43.6	36.4	45.0	517.0
1965	37.5	28.1	34.7	38.2	42.8	39.6	38.3	56.1	45.7	35.6	31.3	27.3	455.2
1966	35.7	27.9	38.7	31.1	29.4	39.7	40.4	41.2	39.5	36.5	35.1	29.3	424.5
1967	40.0	20.1	28.3	35.5		32.4	34.7	41.3	48.5	39.4	45.0	33.6	
1968	34.6	29.5	35.7	40.0	39.2	34.9	34.9	34.5	33.1	31.8		41.7	
1969		32.3		19.8	40.8	56.2	62.1	22.9	23.2	28.3	25.0	21.4	
1970	17.1	32.3	11.0	11.5	10.9	11.9	12.2	12.6	32.2	40.9	35.5	22.5	250.6
1971	42.0	18.5	16.5	36.6	37.4	40.4	38.6	22.2	27.6	34.8	44.7	31.3	390.6
1972	28.5	42.6	33.0	83.4	30.3	30.9	36.6	35.4	48.7	39.6	50.3	56.5	515.8
1973	56.6	52.7	54.6	63.4	62.1	46.0	40.6	37.3	39.4	37.5	40.8	36.5	567.5
1974	29.1	34.4	37.8	35.6	42.9	44.5	49.4	38.5	44.6	45.9	50.5	43.3	496.5
1975	38.9	27.2	40.4	42.6	39.8	40.1	43.5	47.4	40.6	55.8	48.9	41.8	507.0
1976	40.5	43.5	53.8	59.6	47.6	41.1	47.8	45.1	46.4	54.6	50.2	30.2	560.4
1977			23.3		39.0	37.4						42.3	
1978						33.4	39.1	54.8	38.7	35.3	26.8	37.4	
1979	29.2	21.2	22.8	31.6	47.5	33.8	40.2	48.9	65.6	64.6	57.2	49.5	512.1
1980	46.1	34.7	40.4	48.1	48.1	42.1	42.7	39.8	59.4	38.5	48.6	42.5	531.0
1981	31.9	35.1	42.2	46.5	46.8	35.8	41.7	43.3	43.9			42.3	
1982					41.4	42.2	51.5	49.4	57.8	56.5		42.3	
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989	34.8	54.4	56.7	56.1	53.4	49.1	52.0	48.8	50.7	47.8	40.7	47.0	591.5
1990	35.8	43.3	49.2	44.0	39.0	34.3	41.6	43.9	44.4	48.5	39.6	44.7	508.3
1991	36.9	35.9	34.9	34.8	42.2	40.6	33.6	46.1	49.5	41.8	44.1	49.2	489.6
1992	48.0	35.9	42.1	41.3	46.0	37.2	36.3	33.4	40.4	40.1	40.0	42.7	483.4
1993	42.0	39.5	41.8	42.4	42.6	32.7	39.8	46.2	52.7	37.4			
1994													
1995	54.0	51.1	57.1	56.8	51.7	54.3	65.1	68.9	56.7	72.1	71.3	73.0	732.1
1996	91.0	54.6	63.6	78.5	65.0	71.4	71.1	59.2	79.2	68.7	58.3	47.9	808.5
1997	51.5	50.9	58.3	55.3	59.3	60.7	73.5	52.6	61.2	60.9	57.4	45.0	686.6
1998	46.8	40.8	46.4	43.3	55.1	54.2	71.0	72.8	68.8	48.0	42.4	44.8	634.4
1999	44.5	35.3	36.2	47.6	47.0	50.7	44.8	63.3	59.1	50.8	53.5	45.3	578.1
Promedio	41.4	36.9	39.8	44.7	44.1	41.7	45.3	44.9	48.3	45.8	44.7	41.3	535.3
Máximo	91.0	54.6	63.6	83.4	65.0	71.4	73.5	72.8	79.2	72.1	71.3	73.0	808.5
Mínimo	17.1	18.5	11.0	11.5	10.9	11.9	12.2	12.6	23.2	28.3	25.0	21.4	250.6

Fuente: 1964 -1982 Proyecto Irrigación Mazamari
1989-1999 SENAMHI

4.1.4.2. Estación Puerto Ocopa

a) Precipitación

Los registros de precipitación de la estación Puerto Ocopa, que es controlada por el SENAMHI, cuenta con información para el período 1981-1982, 1986 y el período del 1996–2009, reportan un valor total anual promedio de 1 073.2 mm; para la serie de 10 años de información completa, ver Cuadro 4.12 y Figura 4.14

Cuadro 4.12: Precipitación Total Mensual (mm) – Estación Puerto Ocopa

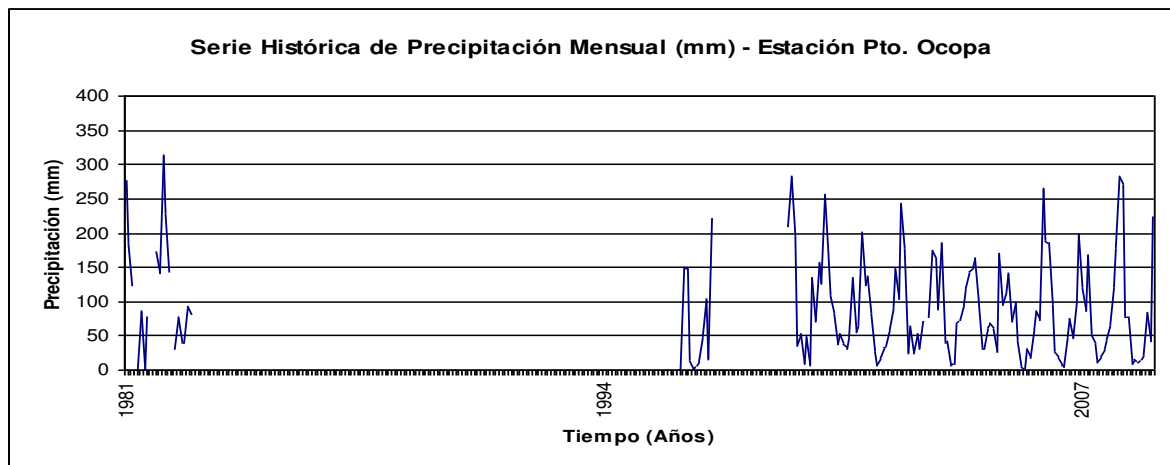
DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: RIO TAMBO

LATITUD: 11° 8' "S"
LONGITUD: 74° 15' "W"
ALTITUD: 690 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1981	276.4	184.0	122.6		0.0	86.2	0.0	80.2			172.3	140.7	
1982	314.2	228.5	141.7		31.0	77.9	38.7	40.8	93.2	79.2			
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996			151.0	148.5	13.4	0.0	6.2	12.2	49.6	103.5	15.9	222.2	
1997													
1998													
1999	210.5	281.9	193.9	35.1	52.8	8.0	48.1	5.9	135.9	71.4	156.3	125.2	1325.0
2000	255.8	161.9	108.4	81.8	37.1	53.8	38.4	31.4	49.5	135.7	54.8	66.9	1075.5
2001	200.4	123.7	136.2	81.8	27.1	7.5	17.1	32.9	35.4	59.0	90.9	147.7	959.7
2002	104.5	243.9	177.4	23.3	63.3	25.1	52.0	31.2	72.9		78.2	175.0	
2003	161.1	87.7	186.2	40.7	42.6	6.7	8.5	68.6	72.2	95.7	120.2	142.7	1032.9
2004	149.7	163.9	98.5	31.0	31.6	60.8	68.1	60.1	26.4	171.0	94.6	114.8	1070.5
2005	142.4	71.5	100.3	43.0	5.0	3.0	30.3	18.6	59.6	86.5	72.9	266.2	899.3
2006	187.9	184.8	94.1	25.9	18.0	6.3	4.4	48.0	75.7	46.0	102.3	199.0	992.4
2007	120.0	86.0	166.9	49.9	37.8	10.8	19.7	30.4	43.7	65.2	122.5	180.1	933.0
2008	282.0	269.6	78.0	78.4	9.1	14.9	11.1	15.5	21.2	84.5	42.6	226.2	1133.1
2009	162.8	194.6	143.9	75.5	85.5	15.0	52.1	8.7	101.1	40.2	113.8	317.8	1311.0
Promedio	197.5	175.5	135.7	59.6	32.5	26.9	28.2	34.6	64.3	86.5	95.2	178.8	1073.2
Máximo	314.2	281.9	193.9	148.5	85.5	86.2	68.1	80.2	135.9	171.0	172.3	317.8	1325.0
Mínimo	104.5	71.5	78.0	23.3	0.0	0.0	0.0	5.9	21.2	40.2	15.9	66.9	899.3
(%)	18.4	16.4	12.6	5.6	3.0	2.5	2.6	3.2	6.0	8.1	8.9	16.7	100.0

Fuente: 1981 -2009 SENAMHI

Figura 4.14: Histograma de Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Puerto Ocopa



Fuente: Elaboración propia.

4.2. METODOLOGIA

Con el fin de cumplir los objetivos se realizaron los estudios en las siguientes etapas:

- **ETAPA I**

Una de las primeras acciones para iniciar el Proyecto fue efectuar coordinaciones entre las autoridades locales ubicadas dentro y fuera del ámbito del área de influencia del proyecto, entre ellas: MINISTERIO DE AGRICULTURA, SENAMHI, CENTRAL HIDROELECTRICA PANGOA, IGN, etc. (Ver Anexo F)

- **ETAPA II**

Es esta segunda etapa, se realizó la visita de campo y levantamiento de información de campo del área de Proyecto de la Irrigación Chavini, y en especial en el sitio de emplazamiento de la bocatoma para la captación del recurso hídrico a ser utilizado por el proyecto.

- **ETAPA III**

En la última etapa se realizó el procesamiento y análisis de información obtenida en las Etapas I y II, siguiendo la presente metodología:

- Caracterización del área de estudio, ubicación del Proyecto de Irrigación Chavini y cuenca de interés.
- Parámetros geomorfológicos de la cuenca de interés.- corresponde a los parámetros característicos de la cuenca como el área, perímetro, factor de forma, índice de compacidad, longitud del curso principal, pendiente, grados de ramificación, etc.
- Estudio Hidrometeorológico.- conteniendo Análisis de Saltos y Tendencias en la media y desviación estándar de la información de precipitación total mensual.
- Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrentía promedio.
- Determinación de los parámetros para el planteamiento del modelo de generación de caudales medios mensuales en función de la precipitación efectiva y del caudal del mes anterior (modelo Lutz-Scholtz).
- Calibración del modelo y generación de caudales medios mensuales extendidos para el sitio de toma de la Irrigación Chavini.
- Determinación de la demanda del Proyecto de la Irrigación Chavini.
- Elaboración del balance hídrico en el sitio de ubicación de la toma del Proyecto de Irrigación Chavini.
- Análisis de Máximas avenidas.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

Las variables morfométricas determinadas a partir de las mediciones básicas, así como las fórmulas utilizadas en dicho cálculo se muestran en los Cuadros 5.1 y 5.2. La cuenca de interés comprende la cuenca del río Chavini desde su nacimiento ubicada a 1150 msnm, hasta la bocatoma del proyecto.

Cuadro 5.1: Mediciones básicas para la cuenca aportante a la Bocatoma Chavini

MEDICIÓN	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Area	A	54	km ²
Perímetro	P	27.1	km
Longitud total del cauce	Ct	35.94	km
Longitud del cauce principal	L	10.93	km
Numero de cauces, 1 orden	N1	14	
Numero de cauces, 2 orden	N2	7	
Numero de cauces, 3 orden	N3	5	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5.2: Variables morfométricas para la cuenca del Rio Chavini.

VARIABLE	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Densidad de drenaje	Dd	0.91	Km/Km ²
Factor de forma	Ff	0.33	
Coeficiente de Torrencialidad	Ct	0.35	rios / Km ²
Coeficiente de Masividad	Cm	41.19	m /Km ²
Extension media de escurrimiento	Es	0.28	km
Frecuencia de Rios	f	0.58	rios/Km ²
Altura media de la cuenca	Hm	1631.18	Msnm

Fuente: Elaboración propia.

5.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO

Considerando que las cuencas involucradas en el área del proyecto no cuentan con estaciones pluviométricas e hidrométricas, se utiliza la formación de precipitación de la estación Satipo, localizada cerca de la zona de estudio, y que cuenta con datos históricos para el período 1964-2009, aunque con algunos datos mensuales faltantes, tal como se ha podido apreciar en el Cuadro 4.5. Esta información servirá de base

para la generación de caudales medios mensuales en los sitios de interés dentro de la zona de estudio, empleándose el modelo Precipitación – Escorrentía Lutz Scholtz.

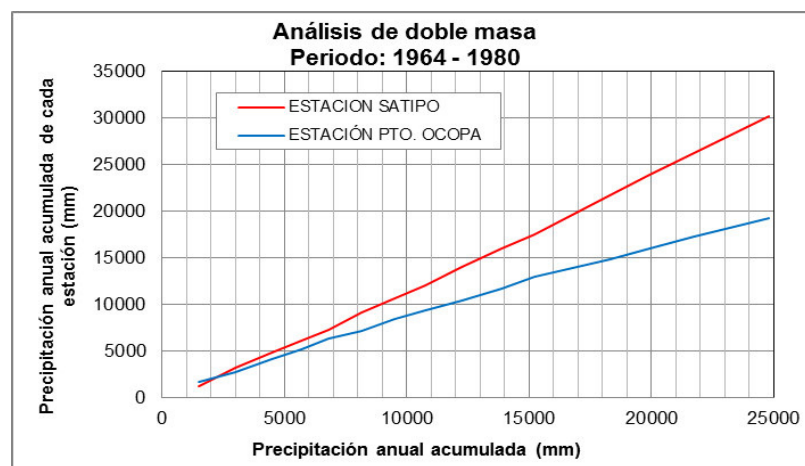
5.2.1 Análisis de Curva de Doble Masa, Saltos y Tendencias de Precipitación Estación Satipo- Periodo (1964-1980).

En el Estudio de Factibilidad Técnico-Económico con Diseños a Nivel Constructivo del Proyecto de Irrigación San Martín de Pangoa, elaborado en 1987 por la empresa consultora Agua y Agro Consultores Asociados S.A, se presenta la información de precipitación total anual de las estaciones Satipo y Puerto Ocopa, para el periodo 1964-1980 (Ver Cuadro B.1 del Anexo B), no habiéndose podido obtener la información a nivel total mensual de la estación Puerto Ocopa.

Se analizó la consistencia de esta información, mediante un análisis de doble masa (Curva Doble Masa) entre la información de precipitación mensual de las estaciones de Satipo y Puerto Ocopa expuestos en el cuadro mencionados anteriormente.

Se realizó el análisis de curva de doble masa para el periodo 1964-1980 y en la Figura 5.1, se aprecia una linealidad aceptable para la estación Puerto Ocopa, no así para la estación Satipo, en consecuencia, se consideró como estación base la estación Puerto Ocopa.

Figura 5.1 Análisis de Doble Masa Estación Satipo y Puerto Ocopa Período 1964 – 1980

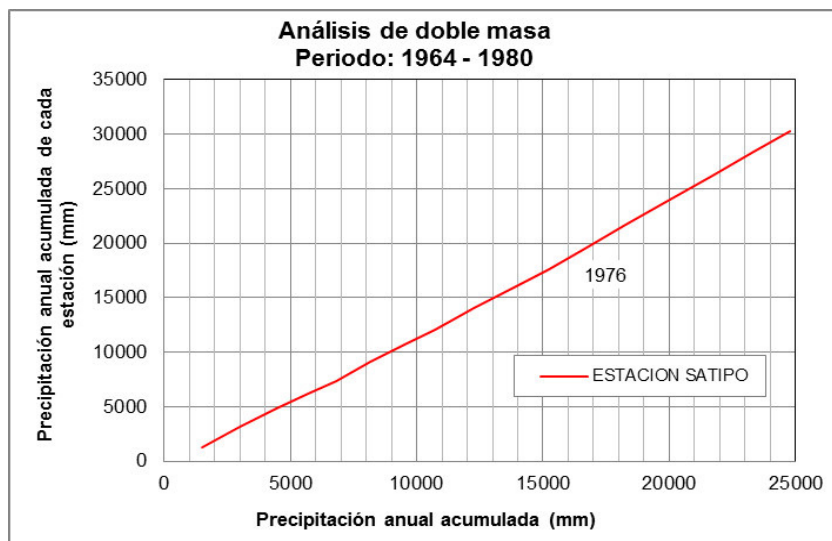


Fuente: Elaboración propia.

La grafica de CDM de la Figura 5.2, para el periodo 1964-1980, entre la información de precipitación total mensual de las estaciones Satipo y Puerto Ocopa, esta presenta una cierta linealidad, existiendo un pequeño cambio de pendiente a partir del año 1976. Para poder comprobar la significancia de este cambio de pendiente, se efectuó

el análisis de saltos y tendencia en la media y desviación estándar para este periodo de análisis.

Figura 5.2: Curva de Doble Masa Estación Satipo vs Puerto Ocopa
Período 1964 – 1980.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Análisis de la Curva de Doble Masa, Saltos y Tendencias de la Información de Precipitación, Periodo 1964-2009 de la estación Satipo.

Los resultados de los análisis de saltos y tendencias en la media y desviación estándar para el periodo 1964-1982, de la información de precipitación mensual de la estación Satipo, da como resultado que el salto es significativo, el cual ha sido removido. Por lo tanto la información fue corregida, para el periodo 1976-1982, efectuándose luego el análisis de tendencia cuyo resultado fue que tendencia en la media y desviación estándar es no significativa, por lo tanto la información no necesita ser corregida por tendencia.

Los resultados obtenidos para de análisis de saltos descritos anteriormente, se muestran en el Cuadro B.2 (Anexo B), y en el Cuadro B.3 (Anexo B) se presenta la información de precipitación mensual libre de saltos de la estación Satipo, periodo 1964-1982. De otro lado, en el Cuadro B.4 (Anexo) se muestra los resultados de los análisis de tendencias para el periodo 1964-1982.

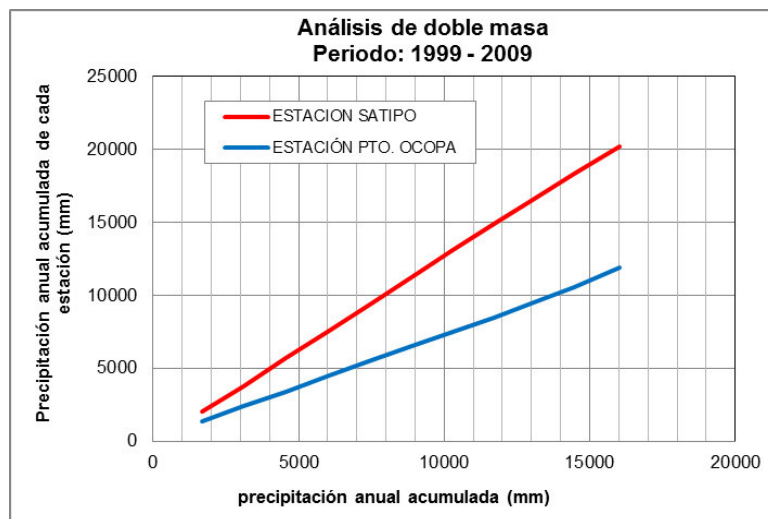
El periodo 1999-2009, cuya información de precipitación mensual es coincidente para las estaciones Satipo y Puerto Ocopa, tal como se puede observar en los Cuadros 4.5 y Cuadros 4.12, también fue sometido a un análisis de CDM con la finalidad de

ver su consistencia, la información utilizada se muestra en el Cuadro B.5 del Anexo B, considerándose la estación Puerto Ocopa como la estación base para este periodo.

En el Gráfico (Figura 5.3), se presenta el análisis de CDM de los datos de la estación Satipo y Puerto Ocopa, apreciándose que las curvas de doble masa tiene una buena linealidad, sin cambios de pendientes, hecho que satisfaga la consistencia de la información analizada de la Estación Satipo.

Con la finalidad de corroborar los resultados del análisis de CDM mencionados anteriormente, periodo 1999-2009, se efectuaron los análisis de saltos y tendencia en la media y desviación estándar, cuyos resultados se presentan en los Cuadros B.6 y B.7 del Anexo B, respectivamente.

Figura 5.3. Análisis de Doble Masa Estación Satipo y Puerto Ocopa Período 1999 – 2009



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados expuestos en los Cuadros B.6 y B.7, obtenidos a partir de la información de precipitación mensual para el periodo 1999-2009 de la estación Satipo, se desprende que los saltos y tendencias no son significativos, por consiguiente esta información no debe ser corregida. De esta manera, se corrobora la consistencia de la información obtenida con el análisis de CDM.

En el Cuadro 5.3, se presenta la serie de precipitación mensual libre de saltos y tendencias de la estación Satipo para el periodo 1964-2009.

5.3 RESULTADOS DE LA GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

El río Chavini no dispone de estaciones hidrométricas ni de registros hidrométricos para poder determinar la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales. Como premisa del Proyecto de Irrigación Chavini, se debe considerar que se captará las aguas superficiales del Río Chavini. Es por ello que se generaron caudales medios mensuales para el Río Chavini, utilizando el modelo precipitación – escorrentía de Lutz Scholtz. El punto de interés dentro de la cuenca del río Chavini, para generar caudales, están representados por el sitio de ubicación de la bocatoma prevista en el presente estudio, siendo el área de la cuenca colectora del río Chavini hasta este punto de 54 km².

Se utilizó la información de precipitación total mensual de la estación Satipo, para 38 años de registro (1964-1982 y 1991-2009), sin considerar los años faltantes (1983-1990), para poder aplicar el método precipitación – escorrentía utilizado en el modelo Lutz Scholtz, ver Cuadro 5.3 .

Para el uso del modelo Lutz Scholtz, este se tiene que calibrar en base a registros hidrométricos históricos, para ello se usaron los registros de caudales mencionados registrados en la Central Hidroeléctrica Chavini, contando con información para el período 1999-2002. Ver Cuadro 5.4.

Cuadro 5.3: Estación Satipo – Precipitación mensual libre de Saltos y Tendencias 1964-2009

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964	80.3	104.7	173.9	90.5	56.0	14.1	74.5	37.5	119.0	189.0	153.3	142.0	1234.8
1965	241.0	296.6	295.5	77.5	82.7	46.5	18.0	0.0	167.0	143.0	301.5	259.0	1928.3
1966	332.5	87.0	101.5	46.0	222.0	0.0	74.0	90.5	185.5	131.0	124.0	246.0	1640.0
1967	173.0	115.0	224.0	100.0	111.2	19.0	105.0	70.0	78.0	179.3	115.0	59.0	1348.5
1968	107.0	138.0	136.0	82.0	31.1	40.0	30.0	0.0	46.0	134.0	170.5	223.9	1138.5
1969	249.9	200.6	218.8	74.3	71.0	116.2	0.0	153.8	56.0	262.0	78.0	321.7	1802.3
1970	193.9	159.0	226.3	143.6	71.6	80.0	31.0	46.3	95.9	152.3	74.9	277.1	1551.9
1971	147.4	190.6	121.7	57.3	54.0	99.6	19.9	145.5	16.8	221.4	138.5	209.6	1422.3
1972	265.0	226.7	187.7	83.4	187.8	23.3	37.1	183.7	138.9	171.3	272.2	208.1	1985.2
1973	176.7	207.7	187.0	140.9	168.3	84.4	95.5	106.4	73.2	244.2	141.4	285.2	1910.9
1974	273.7	191.3	183.2	194.6	81.4	14.0	88.0	125.9	25.0	98.8	120.2	191.4	1587.5
1975	180.8	281.0	220.2	173.0	176.6	156.0	4.8	55.0	264.0	133.6	287.8	128.4	2061.2
1976	182.7	206.6	145.2	46.7	42.4	213.2	11.9	83.6	254.4	86.2	63.9	216.7	1553.6
1977	191.2	314.7	149.5	130.8	115.4	32.8	138.0	34.0	99.7	76.2	228.4	144.1	1654.8
1978	356.7	158.2	216.1	93.7	194.3	24.3	1.1	15.0	109.6	157.8	141.2	291.4	1759.5
1979	286.8	226.3	222.6	153.5	73.5	20.3	62.9	55.0	44.6	81.6	195.1	199.6	1621.8
1980	244.7	234.9	206.3	131.7	44.6	42.6	15.7	25.4	87.9	201.9	64.4	112.8	1412.8
1981	316.0	187.7	286.9	194.8	66.2	155.6	107.7	157.0	90.2	128.3	128.1	169.1	1987.6
1982	189.0	165.7	163.2	70.4	56.6	75.9	75.9	107.7	90.2	157.9	128.1	169.1	1449.8
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991	423.5	308.6	344.6	321.4	50.8	69.4	16.0	8.8	108.8	163.2	198.3	202.6	2216.0
1992	239.8	318.4	444.2	130.4	97.5	269.2	34.0	377.8	225.6	151.2	193.6	251.2	2732.9
1993	422.6	499.8	495.2	260.6	144.2	120.6	99.6	296.2	155.8	213.8	195.9	431.8	3336.1
1994	634.8	563.0	520.8	239.6	108.0	19.6	22.4	49.0	168.3	347.2	198.6	221.0	3092.3
1995	473.2	204.6	386.6	98.6	78.2	55.4	55.2	54.2	107.4	150.8	234.4	135.0	2033.6
1996	923.5	751.9	991.6	463.5	107.1	241.1	67.3	107.4	17.8	56.3	50.3	87.8	3865.6
1997	131.4	86.0	60.0	25.1	49.9	41.6	53.0	136.6	128.5	124.7	174.4	156.9	1168.1
1998	231.7	301.2	175.4	137.4	27.2	47.3	6.1	75.8	183.7	338.9	184.6	240.7	1950.0
1999	294.3	397.7	232.9	107.8	68.1	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	404.2	2039.0
2000	273.7	216.0	278.1	101.1	108.9	49.6	40.5	112.7	89.0	100.2	206.9	160.3	1737.0
2001	252.0	253.5	305.5	121.2	50.5	14.7	90.8	74.0	158.0	179.2	120.9	325.0	1945.3
2002	160.0	296.4	191.0	82.4	105.4	5.4	156.1	116.7	135.4	224.2	152.9	229.7	1855.6
2003	295.3	133.5	327.1	70.4	82.4	176.8	94.1	91.0	151.1	92.1	169.9	195.2	1878.9
2004	286.3	313.4	141.1	87.6	96.8	39.5	140.5	138.4	69.3	176.2	321.0	139.2	1949.3
2005	117.5	185.5	248.7	182.4	22.4	22.4	71.0	81.9	61.2	218.7	200.1	279.6	1691.4
2006	237.8	180.5	84.8	85.9	41.8	117.4	27.0	77.1	101.0	354.7	208.6	301.0	1817.6
2007	192.6	125.1	210.4	69.5	89.9	67.5	72.3	97.0	73.1	175.6	99.0	299.7	1571.7
2008	304.6	349.6	161.9	246.0	88.2	33.1	76.0	55.3	81.8	190.9	100.7	162.7	1850.8
2009	264.7	253.4	176.4	84.3	127.1	76.4	87.7	25.6	97.1	186.7	200.2	266.2	1845.8
Prom.	272.3	248.2	248.5	131.6	90.8	72.3	58.5	93.0	113.8	171.8	164.7	219.6	1885.0
Desv.	152.5	133.3	161.6	85.4	48.6	67.1	41.5	74.7	60.0	70.5	66.2	80.9	557.9
Máx.	923.5	751.9	991.6	463.5	222.0	269.2	156.1	377.8	264.0	354.7	321.0	431.8	3865.6
Mín.	80.3	86.0	60.0	25.1	22.4	0.0	0.0	0.0	16.8	56.3	50.3	59.0	1138.5

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 5.4. Estación hidroeléctrica Chavini – Caudales medios mensuales (m³/s)
Periodo 1999-2002

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1999	2.00	2.00	2.00	3.00	2.55	2.10	1.20	0.85	0.85	2.00	1.90	1.50	1.83
2000	3.00	3.00	3.00	2.00	2.20	2.00	2.00	1.30	1.30	1.20	1.15	1.80	2.00
2001	2.50	2.40	1.50	1.50	1.40	1.20	1.00	0.90	0.90	1.20	1.50	1.60	1.47
2002	1.50	2.10	1.80	1.80	1.30	1.10	1.10	1.00	1.60	2.50	2.60	2.60	1.75
Prom.	2.25	2.38	2.08	2.08	1.86	1.60	1.33	1.01	1.16	1.73	1.79	1.88	1.76

Fuente: Gerencia General de la Central Hidroeléctrica Chavini - 2003

Se debe indicar que no se cuenta con mayor información de caudales registrados de la C.H. Chavini, a pesar de las solicitudes reiterativas de esa información, incluso durante la visita técnica realizada en el mes de Octubre del 2013.

5.3.1 Precipitación total mensual

Para calibrar el modelo, se empleó la precipitación total anual promedio del período 1999-2002 de la estación Satipo (Cuadro 5.3), y los datos de caudales medios mensuales de la Estación de la Central Hidroeléctrica Chavini para el mismo periodo. Este registro de precipitación se tomó como la más próxima y representativa para el área del proyecto, con un valor anual promedio de 1894.2 mm, tal como se puede apreciar en los datos del Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Precipitación total mensual (mm) – Estación Satipo. Periodo 1999-2002

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1999	294.3	397.7	232.9	107.8	68.1	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	404.2	2039.0
2000	273.7	216.0	278.1	101.1	108.9	49.6	40.5	112.7	89.0	100.2	206.9	160.3	1737.0
2001	252.0	253.5	305.5	121.2	50.5	14.7	90.8	74.0	158.0	179.2	120.9	325.0	1945.3
2002	160.0	296.4	191.0	82.4	105.4	5.4	156.1	116.7	135.4	224.2	152.9	229.7	1855.6
Prom.	245.0	290.9	251.9	103.1	83.2	22.8	77.5	91.9	137.6	159.6	151.0	279.8	1894.2

Fuente: Información de Cuadro 5.3.

5.3.2 Coeficiente de Escorrentía

El caudal medio anual promedio de los registros de caudales medios mensuales de la estación Chavini (Cuadro 5.4) de 1.76 m³/s es equivalente a una lámina de 1 027.8 mm. El coeficiente de escorrentía (C), es el resultado de dividir la escorrentía entre la precipitación (Cuadro 5.5), todo en unidades de lámina (mm), por lo tanto para la cuenca del río Chavini se tiene:

$$C = Q / P$$

$$C = 1027.84 / 1894.3 \quad C = 0.54$$

5.3.3 Parámetros del modelo de balance hídrico para el año promedio.

5.3.3.1 Área de la cuenca hasta la toma Chavini

Área de la cuenca hasta la toma Chavini: 54.0 km²

5.3.3.2 Coeficiente de Agotamiento (a)

Resultado obtenido a partir de la fórmula empírica de Moss, como función del área de la cuenca e interviene en el cálculo de los caudales en época de estiaje.

$$a = -0.00252 \ln(A) + 0.023$$

Remplazando valores de A = 54.0 km² en la expresión anterior se tiene:

$$a = -0.00252 \ln(54.0) + 0.023 = 0.01295$$

5.3.3.3 Precipitación Efectiva (PE)

Con el registro de precipitación total mensual (ver Cuadro 5.3), se calcula la precipitación promedio mensual y su respectiva Precipitación Efectiva (PE), mediante el método de la USBR, considerando la Curva Tipo III, que corresponde a un coeficiente de escurrimiento de 0.45–0.65, siendo la ecuación de la Curva III la siguiente:

$$PE = a_0 + a_1 * P + a_2 * P^2 + a_3 * P^3 + a_4 * P^4 + a_5 * P^5$$

Los coeficientes de esta ecuación son los siguientes:

a0 =	-0.028
a1 =	0.27560
a2 =	-0.004103
a3 =	0.00005534
a4 =	0.000000124
a5 =	-1.42E-09

Tan igual que en el “Estudio de Pre-Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa, ATA S.A., 2003”, se vio conveniente considerar un valor máximo de PE = 142.3 mm, si la precipitación total mensual es mayor a 178 mm. En la columna (1) y (2) del Cuadro 5.7, se muestra los valores de PE obtenidos.

5.3.3.4 Retención de la cuenca Estación Chavini (Ri)

Es la lámina de lluvia retenida por una parte de la cuenca y que luego contribuye al abastecimiento en la época de estiaje. Esta lámina se ha calculado a partir de los acuíferos potenciales, lagunas y nevados, y que de acuerdo a la pendiente de la cuenca retiene una determinada lámina de agua, ver Cuadro 5.6.

Cuadro 5.6: Retención por lagunas, pantanos y napa freática.
Cuenca estación Chavini.

Descripción	Área (km ²)	Lamina específica (mm/año)	Volumen Total (m ³)
Napa freática	8.0	300.0	2400000.0
Lagunas y pantanos	18.6	500.0	9307500.0
Nevados	0.0		0.0
Total	26.6		11707500.0

$$R_i = \text{Volumen total (m}^3\text{)} / \text{Área cuenca (m}^2\text{)} = 216.81 \text{ mm}$$

5.3.3.5 Se calcula el gasto de la retención (Gi) a partir del mes de abril hasta el mes de agosto (5 meses)

5.3.3.6 Relación entre la descarga del mes actual y del mes anterior

$$g_0 = e^{-a \cdot t}$$

Donde “a” es el coeficiente de agotamiento y “t” es el número de días del mes (30).
Remplazando valores de a = 0.01295 y t = 30, en la expresión anterior se tiene:

$$g_0 = e^{-0.01295 \cdot 30} = 0.678$$

La relación de descarga del mes actual y del mes anterior para la estación seca
Se obtiene con la siguiente relación:

$$g_i = (g_0)^i$$

gi : Es la relación de descarga del mes actual y del mes anterior.

i : Es el número de orden de los meses de la estación seca, a partir de su inicio.

i = 1 para abril; i = 2 para mayo; i = 5 para agosto.

Los resultados se muestran en la columna (3) del Cuadro 5.7.

5.3.3.7 Para el cálculo de la contribución mensual del gasto o gasto de la retención (G_i), de los meses de la estación seca (abril – agosto)

Se aplica la siguiente expresión:

$$G_i = \frac{R_i * g_i}{\sum_{i=1}^6 g_i}$$

Dónde:

G_i : Es el gasto de la retención para el mes i .

R_i : Es la retención de la cuenca estación Chavini, estimada en (mm).

Los resultados se muestran en la columna (4) del Cuadro 5.7.

5.3.3.8 Cálculo del abastecimiento o la alimentación de la retención, que se presenta en la estación lluviosa

Considerados para los meses: enero, febrero, marzo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre) con la siguiente expresión:

$$A_i = a_i * R_i$$

Dónde:

A_i : Abastecimiento de la retención mensual del mes i (mm/mes)

a_i : Coeficiente de abastecimiento (%)

R_i : Retención de la cuenca (mm/año)

i : mes del año (de 1 a 12)

Los valores de “ a_i ” presentados en la columna (5) del Cuadro 5.7, fueron obtenidos del “Estudio de Pre-Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa, ATA S.A., 2003”.

Los resultados se muestran en la columna (6) del Cuadro 5.7.

5.3.3.9 Generación de caudales mensuales (CM_i) para el año promedio (Parte Determinística)

Se obtiene con la siguiente relación:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Dónde:

CM_i Caudal del mes i (mm/mes)

PE_i Precipitación efectiva del mes i (mm/mes)

G_i Gasto de la retención en el mes i (mm/mes)

A_i Abastecimiento en el mes i (mm/mes)

Los resultados se exponen en la columna (7) del Cuadro 5.7.

En el Cuadro 5.7, se muestran los caudales mensuales teóricos obtenidos Q (m^3/s) columna (8) y los caudales históricos en la estación Chavini (m^3/s) columna (9).

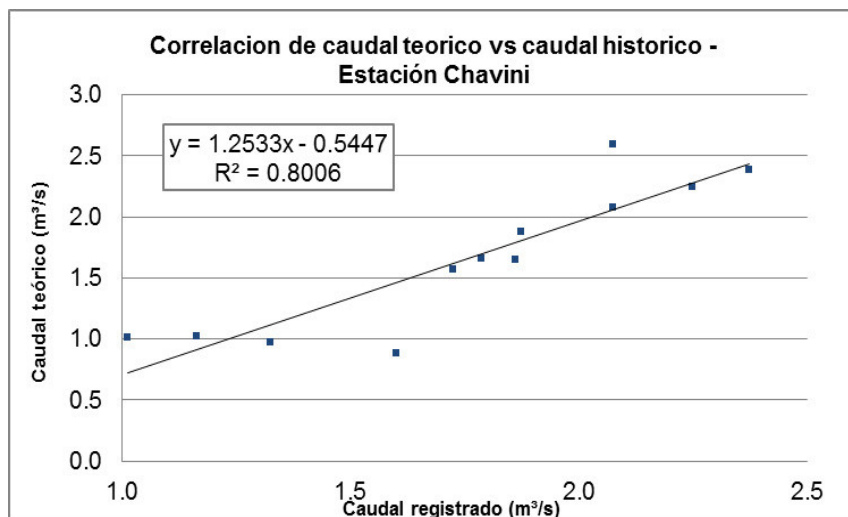
Se ha realizado un análisis de regresión entre estos valores, obteniéndose un coeficiente de correlación de $R = 0.89$, que es un valor que confirma la validez del modelo a utilizar, ver Figura 5.4.

Cuadro 5.7: Caudal de aportación año promedio de la cuenca de recepción de la Estación Chavini (1999-2002)

Mes	Precipitación (mm)		Contribución de retención				Q Aportación		Caudal registrado Chavini (m³/seg)
	Media (mm)	Efectiva (mm)	Gasto		Abastecimiento		CMi (mm/mes)	Qi (m³/s)	
			gi	Gi (mm/mes)	ai	Ai (mm/mes)			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Ene	245.0	142.30			0.1417	30.721	111.58	2.25	2.25
Feb	290.9	142.30			0.1646	35.686	106.61	2.38	2.38
Mar	251.9	142.30			0.1806	39.155	103.14	2.08	2.08
Abr	103.1	42.91	0.6781	81.4675			124.38	2.59	2.08
May	83.2	26.67	0.4598	55.2447			81.91	1.65	1.86
Jun	22.8	4.79	0.3118	37.4624			42.26	0.88	1.60
Jul	77.5	22.95	0.2115	25.4040			48.35	0.97	1.33
Ago	91.9	33.16	0.1434	17.2269			50.38	1.02	1.01
Sep	137.6	78.77			0.1381	29.941	48.83	1.02	1.16
Oct	159.6	97.82			0.0929	20.141	77.68	1.57	1.73
Nov	151.0	91.54			0.0557	12.076	79.46	1.66	1.79
Dic	279.8	142.30			0.2264	49.085	93.22	1.88	1.88
TOTAL	1894.23	967.81	1.80	216.81	1.00	216.81	967.81	19.94	21.13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4. Correlación entre los Caudales teóricos obtenidos y Caudales históricos registrados (m^3/s) en Estación Chavini (1999-2002)



Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 Diseño del modelo matemático para la generación de caudales medios mensuales

El modelo hidrológico del balance hídrico de Fisher parte determinística del modelo de Lutz Schotlz, permite determinar los caudales medios mensuales para el año promedio. El método para la generación de caudales mensuales (parte estocástica) toma como base el año promedio, y es una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso que es la precipitación efectiva (PE). Se procedió de la siguiente manera:

Con los resultados expuestos en el Cuadro 5.7, se efectúa la regresión múltiple entre el caudal del mes t , (Q_t) como valor dependiente, el caudal del mes anterior $t-1$, (Q_{t-1}), y la precipitación efectiva del mes t , $PE(t)$ como valores independientes, determinándose los coeficientes de regresión, el error estándar y el coeficiente de correlación; que se muestran en el Cuadro 5.8 y Cuadro 5.9.

Cuadro 5.8: *Parámetros del Modelo de Generación para períodos extendidos.*

Q_t (mm)	Q_{t-1} (mm)	PE_t (mm)
111.579	93.215	142.30
106.614	111.579	142.30
103.145	106.614	142.30
124.381	103.145	42.91
81.914	124.381	26.67
42.257	81.914	4.79
48.354	42.257	22.95
50.383	48.354	33.16
48.826	50.383	78.77
77.675	48.826	97.82
79.463	77.675	91.54
93.215	79.463	142.30
967.81	967.81	967.81

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 5.9: Resultados de la Regresión Múltiple entre Q_t , Q_{t-1} y PE_t .

Ecuaciones de ajuste de correlación múltiple:

Correlación	Ecuación	R	R ²	Se
Lineal Múltiple	$Y = 14.0372 + 0.5776 * X_1 + 0.2483 * X_2$	0.8327	0.6934	17.1772
Potencial Múltiple	$Y = 2.3214 * X_1^{(0.6082)} * X_2^{(0.2110)}$	0.9040	0.8172	15.5892

Cálculo de Y para un valor de X_1 y X_2 :

Cálculo para::

Para $X_1 = y$

Para $X_2 =$

El valor de Y es: Y =

Fuente: Elaboración Propia.

Con los datos del Cuadro 5.9 se obtienen los parámetros del modelo:

$$Q_t = b_1 + b_2 * Q_{t-1} + b_3 * PE_t + S(1 - R^2)^{\frac{1}{2}} * Z_{ti}$$

Dónde:

Q_t : Caudal generado del año t

Q_{t-1} : Caudal del año (t-1)

PE_t : Precipitación efectiva del año t

S : Error estándar

Z: Número aleatorio normal (0,1), del año t

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes de regresión lineal múltiple

Reemplazando valores, se tiene el siguiente modelo reducido:

$$Q_t = 14.0372 + 0.5776 * Q_{t-1} + 0.2483 * PE_t + 9.51114 * Z_{ti}$$

5.3.5 Generación de caudales medios mensuales en la cuenca del río Chavini

Para la generación de los caudales medios mensuales se ha seguido la siguiente secuencia:

Se calcula la precipitación efectiva mensual de todo el registro de precipitaciones de la estación Satipo, período 1964-1982 y 1991-2009 teniendo en cuenta lo expuesto en el ítem 5.3.3.3, los resultados de PE se pueden apreciar en el Cuadro 5.10.

Se generaron números aleatorios con distribución normal con media cero y variancia igual a 1, para el período de 38 años de datos de precipitación mensual, como los que se muestran en el Cuadro 5.11.

Reemplazando los datos de los Cuadros 5.10 y Cuadro 5.11 en el modelo reducido expuesto en el punto E del ítem 5.3.4. Se generan los caudales medios mensuales para la cuenca del río Chavini en mm/mes y m³/s, resultados que se presentan en los Cuadros 5.12 y Cuadro 5.13 respectivamente; para un periodo de 38 años para los períodos 1964-1982 y 1991-2009.

Cuadro 5.10. *Obtención de la Precipitación Efectiva (PE) para todo el período de datos de Precipitación total mensual de estación Satipo*

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964	24.71	44.40	102.42	32.03	12.69	3.20	21.18	7.60	58.90	94.88	93.43	83.26	578.7
1965	142.30	142.30	142.30	22.95	26.31	9.75	3.94	142.30	101.31	84.25	142.30	142.30	1102.3
1966	142.30	29.36	41.41	9.62	142.30	142.30	20.89	32.03	98.08	71.81	64.26	142.30	936.6
1967	102.41	54.70	142.30	40.04	50.79	4.12	44.69	18.73	23.26	101.49	54.70	13.80	651.0
1968	46.62	79.21	77.12	25.84	6.31	8.14	6.11	142.30	9.62	75.01	102.17	142.30	720.7
1969	142.30	76.40	15.64	21.06	19.25	55.95	142.30	93.82	12.69	142.30	23.26	142.30	887.3
1970	88.66	97.46	142.30	84.83	19.57	24.52	6.30	9.70	36.45	92.63	21.41	142.30	766.1
1971	88.41	93.09	61.79	13.16	12.01	39.68	4.28	86.65	3.71	2.99	79.72	51.95	537.4
1972	142.30	142.30	96.19	26.79	96.09	4.89	7.51	99.35	80.13	102.28	142.30	56.73	996.9
1973	102.15	57.95	96.83	82.16	101.70	27.49	36.11	46.03	20.44	142.30	82.66	142.30	938.1
1974	142.30	92.23	99.66	87.59	25.44	3.18	30.11	66.31	5.20	38.97	60.18	92.10	743.3
1975	100.91	142.30	8.97	102.41	102.17	95.45	1.21	12.35	142.30	74.59	142.30	69.01	994.0
1976	99.98	61.16	86.36	9.82	8.72	39.15	2.76	26.93	142.30	28.79	15.84	25.13	546.9
1977	92.37	142.30	90.27	71.54	55.10	6.63	79.18	6.88	39.80	22.19	142.30	85.32	833.9
1978	142.30	96.98	27.44	34.63	88.01	5.08	0.28	3.37	49.22	96.68	82.46	142.30	768.7
1979	142.30	142.30	142.30	93.57	20.59	4.36	15.38	12.36	9.25	25.57	86.80	78.47	773.2
1980	142.30	142.30	62.05	72.53	9.25	8.75	3.51	5.27	30.03	73.56	16.05	52.40	618.0
1981	142.30	96.16	142.30	87.28	16.85	95.19	47.32	96.16	31.80	68.90	68.64	101.89	994.8
1982	94.85	100.85	99.80	18.94	12.90	22.00	22.00	47.32	31.80	96.78	68.64	101.89	717.8
1991	142.30	142.30	142.30	142.30	10.98	18.43	3.56	2.12	48.39	99.78	81.13	71.81	905.4
1992	142.30	142.30	142.30	71.16	37.83	142.30	6.88	142.30	142.30	91.73	89.10	142.30	1292.8
1993	142.30	142.30	142.30	142.30	85.41	60.61	39.68	142.30	95.31	36.92	85.48	142.30	1257.2
1994	142.30	142.30	142.30	142.30	47.60	4.23	4.73	10.45	101.70	142.30	80.55	5.01	965.8
1995	142.30	66.76	142.30	38.79	23.38	12.48	12.41	12.07	47.01	91.39	142.30	76.07	807.3
1996	142.30	142.30	142.30	142.30	46.72	142.30	17.39	47.01	3.90	12.80	10.83	29.96	880.1
1997	72.24	28.63	14.19	5.21	10.71	8.51	11.68	77.75	69.12	65.01	102.40	96.08	561.6
1998	142.30	142.30	102.33	78.59	5.59	9.97	1.51	21.93	99.35	142.30	98.75	142.30	987.2
1999	142.30	142.30	142.30	47.40	17.78	4.53	4.77	16.00	101.59	75.75	63.40	142.30	900.4
2000	142.30	28.03	142.30	41.04	48.49	10.62	8.26	52.32	30.86	40.22	60.34	98.25	703.0
2001	142.30	142.30	142.30	61.25	10.89	3.32	32.26	20.89	96.82	101.52	60.93	142.30	957.1
2002	98.07	142.30	92.60	26.11	45.07	1.35	95.52	56.47	76.49	142.30	93.11	142.30	1011.7
2003	142.30	74.48	142.30	18.94	26.11	102.14	34.93	32.42	91.64	33.30	102.06	86.64	887.3
2004	142.30	142.30	82.36	29.81	37.22	8.03	81.76	79.62	18.37	102.23	142.30	80.44	946.8
2005	57.31	98.08	142.30	100.12	4.73	4.73	19.25	25.77	14.68	16.10	77.48	142.30	702.9
2006	142.30	101.04	27.77	28.56	8.56	57.21	5.56	22.71	40.95	142.30	55.17	142.30	774.4
2007	90.52	65.44	49.28	18.48	31.56	17.48	19.95	37.39	20.39	102.31	39.15	142.30	634.2
2008	142.30	142.30	99.13	142.30	30.26	6.70	22.05	12.45	25.70	92.72	40.68	99.54	856.1
2009	142.30	142.30	102.20	27.42	67.60	22.29	29.88	5.30	37.48	97.10	77.27	142.30	893.4
Prom	120.4	105.4	100.3	59.0	37.4	32.6	24.9	46.7	55.0	80.6	78.7	102.0	842.9
Total	4574.4	4003.8	3812.6	2241.2	1422.5	1237.1	947.1	1772.7	2088.3	3064.1	2991.8	3874.9	32030.5

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 5.11: Generación de números aleatorios normales con media cero y variancia igual a 1

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	0.08	-0.49	-1.19	-0.26	-0.19	-0.15	-0.14	-0.28	-1.62	-0.28	-0.02	0.08
1965	-1.27	-1.19	-1.32	-2.75	-0.09	-0.79	-1.15	-1.22	1.72	2.49	1.38	-0.25
1966	-0.97	-1.67	1.17	-1.09	0.40	0.03	0.27	2.72	1.36	-0.13	-0.66	0.20
1967	2.45	1.40	-0.92	2.46	-0.41	-1.47	0.16	0.12	0.09	-1.24	-0.54	0.95
1968	0.40	-1.47	-0.03	0.37	0.00	1.18	-0.62	2.37	2.27	0.44	-0.77	0.96
1969	-0.38	0.27	-0.93	1.44	0.03	-1.01	0.00	0.21	0.43	-0.23	-0.48	-0.56
1970	-0.14	0.12	-1.27	1.52	-0.66	-0.35	0.90	-0.60	0.01	-0.35	0.34	0.91
1971	-2.30	2.13	0.28	0.91	-1.32	0.43	0.42	-0.51	-1.22	-0.91	0.38	2.26
1972	0.44	0.82	-0.12	-0.39	0.90	-0.76	0.12	0.46	-0.29	-1.28	2.05	-1.15
1973	0.10	0.11	-0.94	-0.01	-0.19	0.73	0.80	1.50	-0.58	1.68	0.70	-0.19
1974	0.00	0.60	1.36	-0.84	1.38	1.51	-0.19	-0.37	0.53	-0.80	-1.24	-0.78
1975	-0.18	-0.50	-1.18	-0.77	0.13	-0.46	0.27	0.54	-0.68	0.75	0.68	0.03
1976	0.22	-0.20	-0.29	-2.17	0.67	-0.28	-1.83	-0.24	-0.46	-1.89	0.34	0.05
1977	-1.48	0.19	-0.29	-0.70	-0.67	-2.17	-0.12	1.07	0.20	0.18	0.03	2.67
1978	-0.50	-1.37	0.57	-0.31	1.84	-0.05	-1.36	-0.83	-1.44	-2.47	0.41	1.49
1979	0.76	0.06	-0.25	-0.61	0.31	-1.09	1.07	-1.58	-0.63	-0.49	-0.47	1.43
1980	-0.85	0.96	-0.88	0.38	1.02	-0.46	0.68	0.11	0.03	-0.24	-0.64	2.27
1981	-1.52	0.76	-1.06	0.82	-1.52	0.06	0.00	-1.39	-0.63	-1.22	-0.12	0.36
1982	-0.29	-0.24	0.28	-0.78	0.59	-0.96	1.44	0.03	0.23	1.51	0.19	-0.12
1991	0.33	-1.34	2.19	-1.24	0.86	-2.54	-0.41	-2.41	-0.69	0.89	-0.46	0.03
1992	-0.01	0.79	0.08	1.13	1.06	0.16	0.20	-0.06	-0.61	-0.38	0.13	1.21
1993	0.34	-1.30	1.80	-2.38	2.78	-1.32	0.21	-1.23	1.63	-1.70	-1.28	1.01
1994	-1.31	-0.44	-0.31	1.25	0.90	-1.21	-2.28	1.25	-0.25	-0.02	0.78	1.36
1995	0.36	1.13	-1.31	-0.37	-1.17	0.60	2.11	-1.81	-1.01	1.34	-1.46	-1.87
1996	-2.09	-0.38	1.25	0.02	-0.81	-0.30	-0.60	0.19	0.72	-0.86	-0.19	-1.45
1997	-0.59	0.11	0.04	0.30	-0.01	-0.22	-0.25	0.33	1.22	-1.45	0.63	-0.98
1998	0.98	1.64	-0.78	0.34	1.24	0.19	-1.09	0.73	0.29	-1.39	-0.26	1.24
1999	0.40	-1.50	1.77	-1.19	1.51	-0.34	0.87	-0.94	1.53	1.22	-0.01	0.17
2000	-0.10	0.11	-0.55	-2.15	0.47	-0.29	1.28	-0.53	-0.18	3.02	-1.69	-0.13
2001	-0.66	0.83	1.15	1.21	0.45	-0.53	0.12	0.85	0.02	-0.21	1.12	1.14
2002	-0.33	1.79	0.47	-1.30	-0.39	-0.59	-0.20	0.89	-0.99	0.18	-0.90	-0.28
2003	0.62	-0.17	-0.39	-0.80	0.60	0.34	-0.59	1.01	0.54	0.72	0.41	1.13
2004	-1.14	-0.90	-0.50	0.61	-0.67	0.15	-1.17	-0.70	-1.39	-0.41	-1.10	-0.43
2005	-2.10	0.19	0.09	-0.51	-0.26	1.45	1.71	-0.47	-1.10	-1.38	0.41	0.04
2006	-1.20	0.06	-0.04	-0.90	0.27	-2.06	-0.32	0.41	0.70	0.58	2.37	0.67
2007	-0.64	0.66	1.63	-1.33	-1.42	0.32	-0.38	1.43	-0.22	0.11	-1.65	0.28
2008	-1.15	0.41	-0.39	0.38	1.83	0.42	-2.02	1.57	0.99	0.61	-0.07	0.36
2009	-0.06	-0.02	-0.69	0.00	-0.29	-0.29	2.07	-0.20	0.20	0.53	1.23	-1.11
Promedio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Des. Est.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 5.12: Caudales mensuales generados (mm/mes) en la Cuenca del río Chavini.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1964	76.32	55.71	78.40	73.28	80.60	61.05	52.44	42.21	35.09	65.09	76.27	76.88	64.44
1965	103.53	113.37	141.03	110.58	90.23	73.34	64.40	51.74	58.97	72.42	93.13	101.18	89.50
1966	110.24	83.90	78.51	69.25	86.14	68.94	69.65	43.52	76.80	72.62	69.27	94.66	76.96
1967	105.26	80.15	99.56	97.11	89.76	65.39	77.71	70.25	55.20	76.12	65.49	57.47	78.29
1968	78.63	99.56	66.63	63.32	51.60	31.92	34.47	30.22	25.97	48.83	67.73	105.44	58.69
1969	101.54	109.31	112.13	87.57	68.54	57.15	36.04	56.69	44.71	96.65	80.28	81.90	77.71
1970	94.73	93.26	101.03	111.07	88.50	63.07	37.07	41.76	48.06	67.60	58.21	77.42	73.48
1971	91.87	87.77	79.07	56.92	62.99	48.98	42.00	73.64	67.54	78.57	88.66	87.88	72.16
1972	105.99	98.24	99.07	74.86	81.30	60.88	33.40	65.00	66.35	87.19	95.57	96.47	80.36
1973	108.93	104.31	99.76	69.50	85.84	77.26	83.11	71.52	56.16	97.23	93.93	108.50	88.00
1974	109.29	111.78	124.08	138.36	107.54	79.18	79.33	81.81	64.57	74.52	83.17	90.99	95.38
1975	99.64	110.97	116.73	99.10	93.57	97.94	90.95	80.59	107.36	98.82	111.58	92.84	100.01
1976	106.33	114.06	131.00	91.46	84.21	100.36	77.35	82.51	110.22	100.30	94.92	107.82	100.04
1977	111.40	113.84	84.49	84.57	86.87	61.88	59.65	36.86	41.83	38.22	81.03	91.82	74.37
1978	96.98	95.94	105.80	89.08	106.16	76.67	53.36	41.07	60.59	72.33	67.45	75.68	78.42
1979	72.76	89.27	105.27	88.76	69.66	68.89	72.12	67.67	60.09	39.00	51.68	88.68	72.82
1980	86.05	86.79	81.75	69.90	52.94	45.90	39.30	32.02	35.44	75.65	49.37	60.56	59.64
1981	88.91	89.18	113.63	102.97	84.67	87.54	89.57	82.22	89.24	78.25	60.92	65.57	86.06
1982	91.02	99.60	103.45	81.64	57.29	64.90	40.17	64.69	55.50	92.44	82.26	73.04	75.50
1991	102.62	120.98	119.28	110.91	78.71	67.05	57.04	35.91	39.80	60.81	98.30	115.70	83.93
1992	111.78	103.93	111.02	81.47	68.95	96.74	76.17	97.08	111.78	79.10	93.43	102.71	94.51
1993	97.38	100.51	112.05	113.46	101.17	96.67	66.37	91.93	93.97	112.72	118.88	112.15	101.44
1994	105.14	115.25	101.67	108.09	103.26	56.11	37.44	35.89	50.78	81.67	93.52	92.94	81.81
1995	92.44	110.84	122.74	77.96	69.20	38.05	46.01	28.20	42.55	80.36	112.11	101.86	76.86
1996	92.10	101.88	114.65	103.24	83.70	71.88	72.92	73.94	67.65	55.34	40.18	49.68	77.26
1997	62.15	66.10	62.33	49.73	47.76	39.63	39.78	48.63	78.56	87.37	81.57	86.46	62.51
1998	80.31	91.69	93.22	83.52	70.65	50.27	37.11	42.88	58.87	91.01	83.90	104.88	74.03
1999	104.32	114.98	117.97	100.27	73.06	54.94	52.10	57.19	94.47	85.49	76.08	90.13	85.08
2000	103.01	113.14	142.96	103.06	68.93	45.06	50.95	48.97	32.09	41.94	71.17	81.92	75.27
2001	92.55	113.34	111.98	76.38	56.49	52.38	50.65	45.96	59.64	91.20	81.65	87.95	76.68
2002	83.58	83.38	90.98	67.71	58.92	59.37	48.34	54.14	68.78	75.11	90.21	113.25	74.48
2003	115.66	84.10	90.81	78.87	68.33	49.22	65.34	56.46	79.19	61.03	76.09	96.40	76.79
2004	99.72	96.51	87.31	87.96	82.19	64.94	80.16	85.79	76.75	66.92	83.80	88.78	83.40
2005	83.41	105.79	96.68	107.42	69.45	75.55	75.46	63.28	63.97	95.42	99.35	116.60	87.70
2006	110.79	113.51	89.15	71.43	45.68	46.66	40.20	49.36	36.04	56.91	74.29	97.63	69.30
2007	99.07	101.81	97.91	84.14	80.88	78.50	61.54	50.01	47.50	63.36	57.92	86.52	75.76
2008	84.57	110.44	123.46	140.86	102.99	62.62	51.44	53.00	44.85	77.99	77.73	100.85	85.90
2009	92.89	94.47	110.32	86.31	76.44	64.64	48.21	35.76	36.83	66.13	87.33	105.56	75.41
Prom.	96.13	99.46	103.10	89.27	77.24	64.78	57.61	57.12	61.68	75.31	80.75	91.23	79.47
Max.	115.66	120.98	142.96	140.86	107.54	100.36	90.95	97.08	111.78	112.72	118.88	116.60	101.44
Min.	62.15	55.71	62.33	49.73	45.68	31.92	33.40	28.20	25.97	38.22	40.18	49.68	58.69

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 5.13. Caudales medios mensuales generados (m³/s) en la cuenca del río Chavini

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1964	1.54	1.24	1.58	1.53	1.62	1.27	1.06	0.85	0.73	1.31	1.59	1.55	1.32
1965	2.09	2.53	2.84	2.30	1.82	1.53	1.30	1.04	1.23	1.46	1.94	2.04	1.84
1966	2.22	1.87	1.58	1.44	1.74	1.44	1.40	0.88	1.60	1.46	1.44	1.91	1.58
1967	2.12	1.79	2.01	2.02	1.81	1.36	1.57	1.42	1.15	1.53	1.36	1.16	1.61
1968	1.59	2.22	1.34	1.32	1.04	0.66	0.69	0.61	0.54	0.98	1.41	2.13	1.21
1969	2.05	2.44	2.26	1.82	1.38	1.19	0.73	1.14	0.93	1.95	1.67	1.65	1.60
1970	1.91	2.08	2.04	2.31	1.78	1.31	0.75	0.84	1.00	1.36	1.21	1.56	1.51
1971	1.85	1.96	1.59	1.19	1.27	1.02	0.85	1.48	1.41	1.58	1.85	1.77	1.49
1972	2.14	2.19	2.00	1.56	1.64	1.27	0.67	1.31	1.38	1.76	1.99	1.94	1.65
1973	2.20	2.33	2.01	1.45	1.73	1.61	1.68	1.44	1.17	1.96	1.96	2.19	1.81
1974	2.20	2.50	2.50	2.88	2.17	1.65	1.60	1.65	1.35	1.50	1.73	1.83	1.96
1975	2.01	2.48	2.35	2.06	1.89	2.04	1.83	1.62	2.24	1.99	2.32	1.87	2.06
1976	2.14	2.55	2.64	1.91	1.70	2.09	1.56	1.66	2.30	2.02	1.98	2.17	2.06
1977	2.25	2.54	1.70	1.76	1.75	1.29	1.20	0.74	0.87	0.77	1.69	1.85	1.53
1978	1.96	2.14	2.13	1.86	2.14	1.60	1.08	0.83	1.26	1.46	1.41	1.53	1.61
1979	1.47	1.99	2.12	1.85	1.40	1.44	1.45	1.36	1.25	0.79	1.08	1.79	1.50
1980	1.73	1.94	1.65	1.46	1.07	0.96	0.79	0.65	0.74	1.53	1.03	1.22	1.23
1981	1.79	1.99	2.29	2.15	1.71	1.82	1.81	1.66	1.86	1.58	1.27	1.32	1.77
1982	1.84	2.22	2.09	1.70	1.15	1.35	0.81	1.30	1.16	1.86	1.71	1.47	1.56
1991	2.07	2.70	2.40	2.31	1.59	1.40	1.15	0.72	0.83	1.23	2.05	2.33	1.73
1992	2.25	2.32	2.24	1.70	1.39	2.02	1.54	1.96	2.33	1.59	1.95	2.07	1.95
1993	1.96	2.24	2.26	2.36	2.04	2.01	1.34	1.85	1.96	2.27	2.48	2.26	2.09
1994	2.12	2.57	2.05	2.25	2.08	1.17	0.75	0.72	1.06	1.65	1.95	1.87	1.69
1995	1.86	2.47	2.47	1.62	1.40	0.79	0.93	0.57	0.89	1.62	2.34	2.05	1.58
1996	1.86	2.27	2.31	2.15	1.69	1.50	1.47	1.49	1.41	1.12	0.84	1.00	1.59
1997	1.25	1.48	1.26	1.04	0.96	0.83	0.8	0.98	1.64	1.76	1.70	1.74	1.29
1998	1.62	2.05	1.88	1.74	1.42	1.05	0.75	0.86	1.23	1.83	1.75	2.11	1.52
1999	2.10	2.57	2.38	2.09	1.47	1.14	1.05	1.15	1.97	1.72	1.59	1.82	1.75
2000	2.08	2.53	2.88	2.15	1.39	0.94	1.03	0.99	0.67	0.85	1.48	1.65	1.55
2001	1.87	2.53	2.26	1.59	1.14	1.09	1.02	0.93	1.24	1.84	1.70	1.77	1.58
2002	1.69	1.86	1.83	1.41	1.19	1.24	0.97	1.09	1.43	1.51	1.88	2.28	1.53
2003	2.33	1.88	1.83	1.64	1.38	1.03	1.32	1.14	1.65	1.23	1.59	1.94	1.58
2004	2.01	2.15	1.76	1.83	1.66	1.35	1.62	1.73	1.60	1.35	1.75	1.79	1.72
2005	1.68	2.36	1.95	2.24	1.40	1.57	1.52	1.28	1.33	1.92	2.07	2.35	1.81
2006	2.23	2.53	1.80	1.49	0.92	0.97	0.81	1.00	0.75	1.15	1.55	1.97	1.43
2007	2.00	2.27	1.97	1.75	1.63	1.64	1.24	1.01	0.99	1.28	1.21	1.74	1.56
2008	1.70	2.47	2.49	2.93	2.08	1.30	1.04	1.07	0.93	1.57	1.62	2.03	1.77
2009	1.87	2.11	2.22	1.80	1.54	1.35	0.97	0.72	0.77	1.33	1.82	2.13	1.55
Prom.	1.94	2.22	2.08	1.86	1.56	1.35	1.16	1.15	1.29	1.52	1.68	1.84	1.64
Max	2.33	2.70	2.88	2.93	2.17	2.09	1.83	1.96	2.33	2.27	2.48	2.35	2.09
Min	1.25	1.24	1.26	1.04	0.92	0.66	0.67	0.57	0.54	0.77	0.84	1.00	1.21

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.6 Disponibilidad Hídrica en el área del Proyecto

La disponibilidad hídrica en el las áreas del proyecto de irrigación Chavini se expresa como la persistencia de caudales en el tiempo. Los caudales medios mensuales generados para estas zonas de interés en el río Chavini, fueron ordenados de mayor a menor, determinándose su persistencia, resultados que se presentan en el Cuadro 5.14, Cuadro 5.15 y en la Figura 5.5.

Cuadro 5.14. Caudales medios mensuales ordenados (m^3/s) en la Cuenca del río Chavini.

	%	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	2.63	2.33	2.70	2.88	2.93	2.17	2.09	1.83	1.96	2.33	2.27	2.48	2.35
2	5.26	2.25	2.57	2.84	2.88	2.14	2.04	1.81	1.85	2.30	2.02	2.34	2.33
3	7.89	2.25	2.57	2.64	2.36	2.08	2.02	1.68	1.73	2.24	1.99	2.32	2.28
4	10.53	2.23	2.55	2.50	2.31	2.08	2.01	1.62	1.66	1.97	1.96	2.07	2.26
5	13.16	2.22	2.54	2.49	2.31	2.04	1.82	1.60	1.66	1.96	1.95	2.05	2.19
6	15.79	2.20	2.53	2.47	2.30	1.89	1.65	1.57	1.65	1.86	1.92	1.99	2.17
7	18.42	2.20	2.53	2.40	2.25	1.82	1.64	1.56	1.62	1.65	1.86	1.98	2.13
8	21.05	2.14	2.53	2.38	2.24	1.81	1.61	1.54	1.49	1.64	1.84	1.96	2.13
9	23.68	2.14	2.53	2.35	2.15	1.78	1.60	1.52	1.48	1.60	1.83	1.95	2.11
10	26.32	2.12	2.50	2.31	2.15	1.75	1.57	1.47	1.44	1.60	1.76	1.95	2.07
11	28.95	2.12	2.48	2.29	2.15	1.74	1.53	1.45	1.42	1.43	1.76	1.94	2.05
12	31.58	2.10	2.47	2.26	2.09	1.73	1.50	1.40	1.36	1.41	1.72	1.88	2.04
13	34.21	2.09	2.47	2.26	2.06	1.71	1.44	1.34	1.31	1.41	1.65	1.85	2.03
14	36.84	2.08	2.44	2.26	2.02	1.70	1.44	1.32	1.30	1.38	1.62	1.82	1.97
15	39.47	2.07	2.36	2.24	1.91	1.69	1.40	1.30	1.28	1.35	1.59	1.75	1.94
16	42.11	2.05	2.33	2.22	1.86	1.66	1.36	1.24	1.15	1.33	1.58	1.75	1.94
17	44.74	2.01	2.32	2.13	1.85	1.64	1.35	1.20	1.14	1.26	1.58	1.73	1.91
18	47.37	2.01	2.27	2.12	1.83	1.63	1.35	1.15	1.14	1.25	1.57	1.71	1.87
19	50.00	2.00	2.27	2.09	1.82	1.62	1.35	1.08	1.09	1.24	1.53	1.70	1.87
20	52.63	1.96	2.24	2.05	1.80	1.59	1.31	1.06	1.07	1.23	1.53	1.70	1.85
21	55.26	1.96	2.22	2.04	1.76	1.54	1.30	1.05	1.04	1.23	1.51	1.69	1.83
22	57.89	1.91	2.22	2.01	1.75	1.47	1.29	1.04	1.01	1.17	1.50	1.67	1.82
23	60.53	1.87	2.19	2.01	1.74	1.42	1.27	1.03	1.00	1.16	1.46	1.62	1.79
24	63.16	1.87	2.15	2.00	1.70	1.40	1.27	1.02	0.99	1.15	1.46	1.59	1.79
25	65.79	1.86	2.14	1.97	1.70	1.40	1.24	0.97	0.98	1.06	1.46	1.59	1.77
26	68.42	1.86	2.11	1.95	1.64	1.40	1.19	0.97	0.93	1.00	1.36	1.59	1.77
27	71.05	1.85	2.08	1.88	1.62	1.39	1.17	0.93	0.88	0.99	1.35	1.55	1.74
28	73.68	1.84	2.05	1.83	1.59	1.39	1.14	0.85	0.86	0.93	1.33	1.48	1.74
29	76.32	1.79	1.99	1.83	1.56	1.38	1.09	0.81	0.85	0.93	1.31	1.44	1.65
30	78.95	1.73	1.99	1.80	1.53	1.38	1.05	0.81	0.84	0.89	1.28	1.41	1.65
31	81.58	1.70	1.96	1.76	1.49	1.27	1.03	0.8	0.83	0.87	1.23	1.41	1.56
32	84.21	1.69	1.94	1.70	1.46	1.19	1.02	0.79	0.74	0.83	1.23	1.36	1.55
33	87	1.68	1.88	1.65	1.45	1.15	0.97	0.75	0.72	0.77	1.15	1.27	1.53
34	89.47	1.62	1.87	1.59	1.44	1.14	0.96	0.75	0.72	0.75	1.12	1.21	1.47
35	92.11	1.59	1.86	1.58	1.41	1.07	0.94	0.75	0.72	0.74	0.98	1.21	1.32
36	94.74	1.54	1.79	1.58	1.32	1.04	0.83	0.73	0.65	0.73	0.85	1.08	1.22
37	97.37	1.47	1.48	1.34	1.19	0.96	0.79	0.69	0.61	0.67	0.79	1.03	1.16
38	100.00	1.25	1.24	1.26	1.04	0.92	0.66	0.67	0.57	0.54	0.77	0.84	1.00
PROM		1.94	2.22	2.08	1.86	1.56	1.35	1.16	1.15	1.29	1.52	1.68	1.84
MAX		2.33	2.70	2.88	2.93	2.17	2.09	1.83	1.96	2.33	2.27	2.48	2.35
MIN		1.25	1.24	1.26	1.04	0.92	0.66	0.67	0.57	0.54	0.77	0.84	1.00

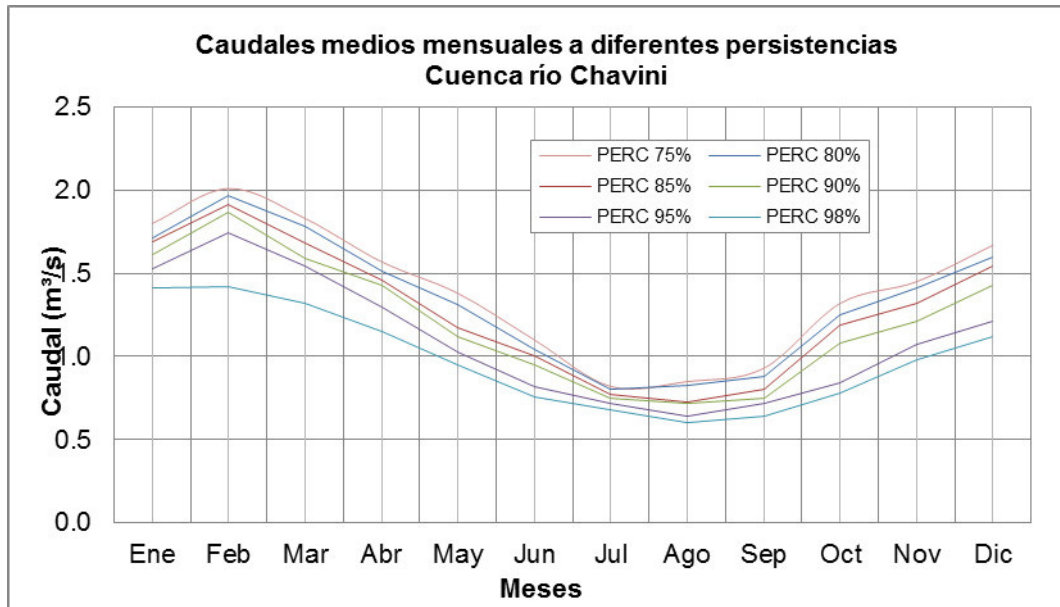
Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 5.15: Persistencias a distintos niveles – Cuenca del río Chavini.

Pers. 75%	1.80	2.01	1.83	1.57	1.38	1.10	0.82	0.85	0.93	1.32	1.45	1.67
Pers. 80%	1.71	1.97	1.78	1.51	1.31	1.04	0.8	0.83	0.88	1.25	1.41	1.60
Pers. 85%	1.69	1.91	1.68	1.46	1.17	1.00	0.77	0.73	0.8	1.19	1.32	1.54
Pers. 90%	1.61	1.87	1.59	1.43	1.12	0.95	0.75	0.72	0.75	1.08	1.21	1.43
Pers. 95%	1.53	1.74	1.54	1.30	1.03	0.82	0.72	0.64	0.72	0.84	1.07	1.21
Pers. 98%	1.41	1.42	1.32	1.15	0.95	0.76	0.68	0.6	0.64	0.78	0.98	1.12

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5: Caudales medios mensuales a diferentes persistencias. Cuenca río Chavini.



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 5.16 se presentan los cálculos para determinar la curva de duración de caudales medios mensuales generados para la cuenca de interés del río Chavini, En la Figura 5.6 se muestran las curvas de duración, que muestran el porcentaje de tiempo en el cual determinados caudales sin igualados o superados, estas curvas han sido elaboradas en base a los caudales y su persistencia del Cuadro 5.16.

Cuadro 5.16. Caudales medios mensuales generados (m³/mes) en la Cuenca del río Chavini – Disponibilidad Hídrica Método de Weibull

m	Q (m ³ /s)	F= m/(n+1)	m	Q (m ³ /s)	F= m/(n+1)	m	Q (m ³ /s)	F= m/(n+1)	m	Q (m ³ /s)	F= m/(n+1)
1	2.93	0.002	41	2.30	0.090	81	2.12	0.177	121	1.99	0.265
2	2.88	0.004	42	2.29	0.092	82	2.12	0.179	122	1.98	0.267
3	2.88	0.007	43	2.28	0.094	83	2.11	0.182	123	1.97	0.269
4	2.84	0.009	44	2.27	0.096	84	2.11	0.184	124	1.97	0.271
5	2.70	0.011	45	2.27	0.098	85	2.10	0.186	125	1.97	0.274
6	2.64	0.013	46	2.27	0.101	86	2.09	0.188	126	1.96	0.276
7	2.57	0.015	47	2.26	0.103	87	2.09	0.190	127	1.96	0.278
8	2.57	0.018	48	2.26	0.105	88	2.09	0.193	128	1.96	0.280
9	2.55	0.020	49	2.26	0.107	89	2.09	0.195	129	1.96	0.282
10	2.54	0.022	50	2.26	0.109	90	2.08	0.197	130	1.96	0.284
11	2.53	0.024	51	2.25	0.112	91	2.08	0.199	131	1.96	0.287
12	2.53	0.026	52	2.25	0.114	92	2.08	0.201	132	1.96	0.289
13	2.53	0.028	53	2.25	0.116	93	2.08	0.204	133	1.95	0.291
14	2.53	0.031	54	2.24	0.118	94	2.07	0.206	134	1.95	0.293
15	2.50	0.033	55	2.24	0.120	95	2.07	0.208	135	1.95	0.295
16	2.50	0.035	56	2.24	0.123	96	2.07	0.210	136	1.95	0.298
17	2.49	0.037	57	2.24	0.125	97	2.06	0.212	137	1.94	0.300
18	2.48	0.039	58	2.23	0.127	98	2.05	0.214	138	1.94	0.302
19	2.48	0.042	59	2.22	0.129	99	2.05	0.217	139	1.94	0.304
20	2.47	0.044	60	2.22	0.131	100	2.05	0.219	140	1.94	0.306
21	2.47	0.046	61	2.22	0.133	101	2.05	0.221	141	1.92	0.309
22	2.47	0.048	62	2.22	0.136	102	2.05	0.223	142	1.91	0.311
23	2.44	0.050	63	2.20	0.138	103	2.04	0.225	143	1.91	0.313
24	2.40	0.053	64	2.20	0.140	104	2.04	0.228	144	1.91	0.315
25	2.38	0.055	65	2.19	0.142	105	2.04	0.230	145	1.89	0.317
26	2.36	0.057	66	2.19	0.144	106	2.04	0.232	146	1.88	0.319
27	2.36	0.059	67	2.17	0.147	107	2.03	0.234	147	1.88	0.322
28	2.35	0.061	68	2.17	0.149	108	2.02	0.236	148	1.88	0.324
29	2.35	0.063	69	2.15	0.151	109	2.02	0.239	149	1.87	0.326
30	2.34	0.066	70	2.15	0.153	110	2.02	0.241	150	1.87	0.328
31	2.33	0.068	71	2.15	0.155	111	2.01	0.243	151	1.87	0.330
32	2.33	0.070	72	2.15	0.158	112	2.01	0.245	152	1.87	0.333
33	2.33	0.072	73	2.14	0.160	113	2.01	0.247	153	1.87	0.335
34	2.33	0.074	74	2.14	0.162	114	2.01	0.249	154	1.86	0.337
35	2.32	0.077	75	2.14	0.164	115	2.01	0.252	155	1.86	0.339
36	2.32	0.079	76	2.14	0.166	116	2.00	0.254	156	1.86	0.341
37	2.31	0.081	77	2.13	0.168	117	2.00	0.256	157	1.86	0.344
38	2.31	0.083	78	2.13	0.171	118	1.99	0.258	158	1.86	0.346
39	2.31	0.085	79	2.13	0.173	119	1.99	0.260	159	1.86	0.348
40	2.30	0.088	80	2.12	0.175	120	1.99	0.263	160	1.85	0.350

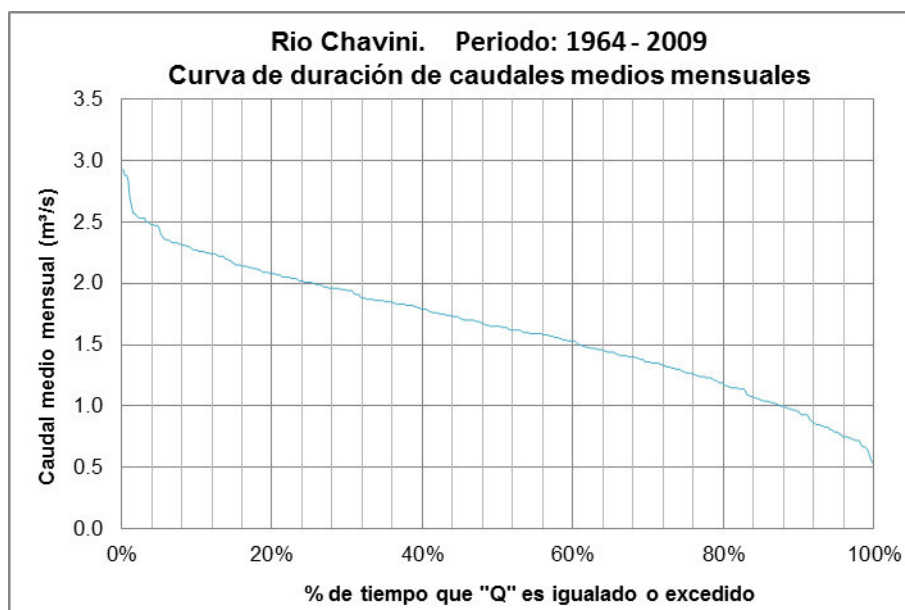
m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)	m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)	m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)	m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)
161	1.85	0.352	201	1.73	0.440	241	1.62	0.527	281	1.49	0.615
162	1.85	0.354	202	1.73	0.442	242	1.62	0.530	282	1.48	0.617
163	1.85	0.357	203	1.73	0.444	243	1.61	0.532	283	1.48	0.619
164	1.85	0.359	204	1.73	0.446	244	1.60	0.534	284	1.48	0.621
165	1.84	0.361	205	1.72	0.449	245	1.60	0.536	285	1.47	0.624
166	1.84	0.363	206	1.71	0.451	246	1.60	0.538	286	1.47	0.626
167	1.83	0.365	207	1.71	0.453	247	1.60	0.540	287	1.47	0.628
168	1.83	0.368	208	1.70	0.455	248	1.59	0.543	288	1.47	0.630
169	1.83	0.370	209	1.70	0.457	249	1.59	0.545	289	1.46	0.632
170	1.83	0.372	210	1.70	0.460	250	1.59	0.547	290	1.46	0.635
171	1.83	0.374	211	1.70	0.462	251	1.59	0.549	291	1.46	0.637
172	1.83	0.376	212	1.70	0.464	252	1.59	0.551	292	1.46	0.639
173	1.82	0.379	213	1.70	0.466	253	1.59	0.554	293	1.45	0.641
174	1.82	0.381	214	1.70	0.468	254	1.59	0.556	294	1.45	0.643
175	1.82	0.383	215	1.69	0.470	255	1.59	0.558	295	1.44	0.646
176	1.82	0.385	216	1.69	0.473	256	1.58	0.560	296	1.44	0.648
177	1.82	0.387	217	1.69	0.475	257	1.58	0.562	297	1.44	0.650
178	1.81	0.389	218	1.68	0.477	258	1.58	0.565	298	1.44	0.652
179	1.81	0.392	219	1.68	0.479	259	1.58	0.567	299	1.44	0.654
180	1.80	0.394	220	1.67	0.481	260	1.57	0.569	300	1.43	0.656
181	1.80	0.396	221	1.66	0.484	261	1.57	0.571	301	1.42	0.659
182	1.79	0.398	222	1.66	0.486	262	1.57	0.573	302	1.42	0.661
183	1.79	0.400	223	1.66	0.488	263	1.56	0.575	303	1.41	0.663
184	1.79	0.403	224	1.65	0.490	264	1.56	0.578	304	1.41	0.665
185	1.79	0.405	225	1.65	0.492	265	1.56	0.580	305	1.41	0.667
186	1.78	0.407	226	1.65	0.495	266	1.55	0.582	306	1.41	0.670
187	1.77	0.409	227	1.65	0.497	267	1.55	0.584	307	1.41	0.672
188	1.77	0.411	228	1.65	0.499	268	1.54	0.586	308	1.40	0.674
189	1.76	0.414	229	1.65	0.501	269	1.54	0.589	309	1.40	0.676
190	1.76	0.416	230	1.65	0.503	270	1.54	0.591	310	1.40	0.678
191	1.76	0.418	231	1.64	0.505	271	1.53	0.593	311	1.40	0.681
192	1.76	0.420	232	1.64	0.508	272	1.53	0.595	312	1.40	0.683
193	1.75	0.422	233	1.64	0.510	273	1.53	0.597	313	1.39	0.685
194	1.75	0.425	234	1.64	0.512	274	1.53	0.600	314	1.39	0.687
195	1.75	0.427	235	1.63	0.514	275	1.53	0.602	315	1.38	0.689
196	1.75	0.429	236	1.62	0.516	276	1.52	0.604	316	1.38	0.691
197	1.74	0.431	237	1.62	0.519	277	1.51	0.606	317	1.38	0.694
198	1.74	0.433	238	1.62	0.521	278	1.50	0.608	318	1.36	0.696
199	1.74	0.435	239	1.62	0.523	279	1.50	0.611	319	1.36	0.698
200	1.74	0.438	240	1.62	0.525	280	1.49	0.613	320	1.36	0.700

m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)	m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)	m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)	m	Q (m³/s)	F= m/(n+1)
321	1.36	0.702	361	1.21	0.790	401	1.00	0.877	441	0.75	0.965
322	1.35	0.705	362	1.20	0.792	402	1.00	0.880	442	0.74	0.967
323	1.35	0.707	363	1.19	0.794	403	0.99	0.882	443	0.74	0.969
324	1.35	0.709	364	1.19	0.796	404	0.99	0.884	444	0.73	0.972
325	1.35	0.711	365	1.19	0.799	405	0.98	0.886	445	0.73	0.974
326	1.35	0.713	366	1.17	0.801	406	0.98	0.888	446	0.72	0.976
327	1.34	0.716	367	1.17	0.803	407	0.97	0.891	447	0.72	0.978
328	1.34	0.718	368	1.16	0.805	408	0.97	0.893	448	0.72	0.980
329	1.33	0.720	369	1.16	0.807	409	0.97	0.895	449	0.69	0.982
330	1.33	0.722	370	1.15	0.810	410	0.96	0.897	450	0.67	0.985
331	1.32	0.724	371	1.15	0.812	411	0.96	0.899	451	0.67	0.987
332	1.32	0.726	372	1.15	0.814	412	0.94	0.902	452	0.66	0.989
333	1.32	0.729	373	1.15	0.816	413	0.93	0.904	453	0.65	0.991
334	1.31	0.731	374	1.15	0.818	414	0.93	0.906	454	0.61	0.993
335	1.31	0.733	375	1.14	0.821	415	0.93	0.908	455	0.57	0.996
336	1.31	0.735	376	1.14	0.823	416	0.93	0.910	456	0.54	0.998
337	1.30	0.737	377	1.14	0.825	417	0.92	0.912			
338	1.30	0.740	378	1.14	0.827	418	0.89	0.915			
339	1.30	0.742	379	1.12	0.829	419	0.88	0.917			
340	1.29	0.744	380	1.09	0.832	420	0.87	0.919			
341	1.28	0.746	381	1.09	0.834	421	0.86	0.921			
342	1.28	0.748	382	1.08	0.836	422	0.85	0.923			
343	1.27	0.751	383	1.08	0.838	423	0.85	0.926			
344	1.27	0.753	384	1.07	0.840	424	0.85	0.928			
345	1.27	0.755	385	1.07	0.842	425	0.84	0.930			
346	1.27	0.757	386	1.06	0.845	426	0.84	0.932			
347	1.26	0.759	387	1.06	0.847	427	0.83	0.934			
348	1.26	0.761	388	1.05	0.849	428	0.83	0.937			
349	1.25	0.764	389	1.05	0.851	429	0.83	0.939			
350	1.25	0.766	390	1.04	0.853	430	0.81	0.941			
351	1.24	0.768	391	1.04	0.856	431	0.81	0.943			
352	1.24	0.770	392	1.04	0.858	432	0.80	0.945			
353	1.24	0.772	393	1.04	0.860	433	0.79	0.947			
354	1.24	0.775	394	1.03	0.862	434	0.79	0.950			
355	1.23	0.777	395	1.03	0.864	435	0.79	0.952			
356	1.23	0.779	396	1.03	0.867	436	0.77	0.954			
357	1.23	0.781	397	1.02	0.869	437	0.77	0.956			
358	1.23	0.783	398	1.02	0.871	438	0.75	0.958			
359	1.22	0.786	399	1.01	0.873	439	0.75	0.961			
360	1.21	0.788	400	1.00	0.875	440	0.75	0.963			

Fuente: Elaboración Propia.

Q medio =	1.640 m³/s
Q 25% =	2.010 m³/s
Q 50% =	1.650 m³/s
Q 75% =	1.270 m³/s
Q 90% =	0.960 m³/s
Q 95% =	0.790 m³/s

Figura 5.6. Curva de duración de la Cuenca Río Chavini



Fuente: Elaboración Propia.

5.4 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

5.4.1 Formulación de la cédula de cultivo

La demanda hídrica para el área aprovechable de 1225.34 ha, se determinó en base a la cédula de cultivos proyectada, considerando una situación actual y futura, Ver Plano 05 y Cuadro N° 5.17.

Cuadro 5.17: Irrigación Chavini – Cédula de cultivo.

Cultivo Principal	Area Física (ha)		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 CAFÉ	400.26	Siembra												
		Cosecha												
2 CACAO	385.64	Siembra												
		Cosecha												
3 CITRICOS	119.00	Siembra												
		Cosecha												
4 TYUCA	146.44	Siembra												
		Cosecha												
5 PLATANO	174.00	Siembra												
		Cosecha												
Total	1225.34													

Fuente: Estudio SNIP de Factibilidad Irrigación Pangoa (2011)

5.4.2 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial mensual, se calculó por el Método de Radiación, esto es considerando la información disponible en el área del proyecto, método que es presentado en el Manual 24 de la FAO. Cuadro 18.

$$Etp = a + b * W * Rs$$

Dónde:

Etp: Es el gasto de la retención para el mes i.

Rs: radiación solar (mm/día)

W: índice de ponderación que depende de la temperatura y altitud

a, b: coeficientes en función de la humedad relativa y los vientos

Cuadro 5.18: *Calculo de la evapotranspiración potencial (Etp). Método de Radiación.*

DESCRIPCION		Simbolo	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
				31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Temperatura Media		T	°C	24.90	24.70	24.90	24.90	24.60	24.00	23.60	24.00	24.60	25.10	25.30	25.00	24.6
Radiación terrestre	(1)	Ra	mm/día	16.5	16.3	15.45	14.1	12.65	11.8	12.2	13.35	14.75	15.85	16.3	16.35	14.6
Horas de Sol Real	(*)	n	horas	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.0
Horas de Sol Máxima	(2)	N	horas	12.66	12.44	12.12	11.8	11.56	11.44	11.54	11.76	12.0	12.22	12.36	12.46	144.4
n / N				0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.40	0.42
(0.25 + 0.50 n / N)	(3)	c		0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.46
Radiación Solar	c * Ra	Rs	mm/día	7.38	7.34	7.05	6.51	5.90	5.53	5.69	6.22	6.81	7.23	7.34	7.36	6.70
Corrección de Temperatura	(4)	W		0.753	0.752	0.753	0.753	0.752	0.743	0.742	0.743	0.752	0.753	0.755	0.753	0.750
W * Rs				5.56	5.52	5.31	4.90	4.44	4.11	4.22	4.62	5.12	5.44	5.54	5.54	5.03
Humedad Relativa				81.9	82.2	81.8	81.1	81.3	81.2	80.1	79	78.8	79.1	79.7	81	80.6
Evapotranspiración Potencial	(5)	Etp	mm/día	4.40	4.40	4.10	3.80	3.40	3.20	3.30	3.60	4.00	4.30	4.40	4.40	3.94
			mm/mes	136.4	123.2	127.1	114.0	105.4	96.0	102.3	111.6	120.0	133.3	132.0	136.4	1438
(1) Cuadro No. 3 - Manual No. 24, FAO				(4) Cuadro No. 6 - Manual No. 24, FAO												
(2) Cuadro No. 4 - Manual No. 24, FAO				(5) Figura No. 2 - Manual No. 24, FAO												
(3) Cuadro No. 5 - Manual No. 24, FAO				(*) Estimado en "Estudio de Pre-Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa, ATA S.A., 2003"												

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3 Coeficiente de cultivo

Los coeficientes de los cultivos de la cédula propuesta se presentan en el Cuadro 5.19, se estimaron tomando como referencia el Manual 56 del Estudio FAO Riego y Drenaje, considerando las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo, período vegetativo, condiciones climáticas y frecuencia de riego, tal como se establecieron en el Estudio de Factibilidad del Proyecto de Irrigación Mazamari, Instituto Nacional de Recursos Naturales, INRENA, MINAG, 1995.

Cuadro 5.19: *Irrigación Chavini – Coeficiente de cultivo Kc*

	Cultivo		F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Principal	E											
1	CAFÉ	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90				0.90	0.90
2	CACAO	0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.75	0.75
3	CITRICOS	0.55	0.55	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50
4	YUCA	0.88						0.15	0.15	0.15	1.05	1.05	1.05
5	PLATANO					0.80	0.75	0.70	0.75	0.90	1.05	1.10	1.05

Fuente: Estudio SNIP de Factibilidad Irrigación Pangoa (2011)

5.4.4 Eficiencia de riego

La demanda de agua de riego se calcula teniendo en cuenta la eficiencia, la cual se determina con el producto de los siguientes componentes: eficiencia de aplicación, eficiencia de operación / distribución y eficiencia de conducción.

Tomando como fuente al Estudio de Factibilidad Irrigación Pangoa (2011), el riego presurizado previsto se considera las siguientes eficiencias.

Eficiencia de conducción	(Ec)	=	90-95%
Eficiencia de distribución	(Ed)	=	95 %.
Eficiencia de aplicación	(Ea)	=	75-80%

5.4.5 Requerimiento de agua

La demanda bruta de agua de riego para el sistema a nivel mensual, para cada cultivo, se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$RBT = \frac{(10 * A * (Etp * Kc - PE))}{Er}$$

Siendo:

RBT	requerimiento bruto de agua a nivel terciario (1000 m³/mes)
A	área cultivada (ha)
Etp	evapotranspiración potencial (mm/mes)
Kc	coeficiente de cultivo de uso consuntivo
PE	precipitación efectiva (mm)
Er	eficiencia de riego a nivel del sistema (0.68)

En el cuadro 5.20 se representan los resultados del requerimiento total de agua por cultivo para el Proyecto de Irrigación Chavini.

Cuadro 5.20: Irrigación Chavini – Requerimiento total de agua por cultivo

	Cultivo		Area (ha)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1	CAFÉ		400.30													
	Evapotranspiración Potencial	ETp	(mm/mes)	136.40	123.20	127.10	114.00	105.40	96.00	102.30				132.00	136.40	
	Precipitación Efectiva 98%	PE 98%	(mm)	40.92	29.17	24.24	8.47	5.37	1.00	0.21				14.54	25.76	
	Coeficiente de cultivo	Kc		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90				0.90	0.90	
	(ETp * Kc)			122.76	110.88	114.39	102.60	94.86	86.40	92.07				118.80	122.76	
	(ETp * Kc - PE 98%) * 10		(m3/ha*mes)	818.37	817.10	901.51	941.27	894.94	854.01	918.63				1042.63	970.02	
	Eficiencia de Riego	Er		0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68				0.68	0.68	
	(((ETp * Kc - PE 98%) * 10) * A)/ Er		10 ³ m ³ /mes	481.75	481.01	530.70	554.10	526.83	502.74	540.77				613.77	571.03	4802.69

	Cultivo		Area (ha)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
2	CACAO		385.60													
	Evapotranspiración Potencial	ETp	(mm/mes)	136.40	123.20	127.10	114.00	105.40	96.00	102.30	111.60	120.00	133.30	132.00	136.40	
	Precipitación Efectiva 98%	PE 98%	(mm)	40.92	29.17	24.24	8.47	5.37	1.00	0.21	0.00	0.00	0.00	14.54	25.76	
	Coeficiente de cultivo	Kc		0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.75	0.75	
	(ETp * Kc)			109.12	98.56	101.68	96.90	89.59	81.60	86.96	94.86	96.00	106.64	99.00	102.30	
	(ETp * Kc - PE 98%) * 10		(m3/ha*mes)	681.97	693.90	774.41	884.27	842.24	806.01	867.48	948.60	960.00	1066.40	844.63	765.42	
	Eficiencia de Riego	Er		0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	(((ETp * Kc - PE 98%) * 10) * A)/ Er		10 ³ m ³ /mes	386.71	393.48	439.13	501.43	477.60	457.06	491.91	537.91	544.38	604.71	478.95	434.04	5747.31

			Area													
	Cultivo		(ha)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
3	CITRICOS		119.00													
	Evapotranspiración Potencial	ETp	(mm/mes)	136.40	123.20	127.10	114.00	105.40	96.00	102.30	111.60	120.00	133.30	132.00	136.40	
	Precipitación Efectiva 98%	PE 98%	(mm)	40.92	29.17	24.24	8.47	5.37	1.00	0.21	0.00	0.00	0.00	14.54	25.76	
	Coeficiente de cultivo	Kc		0.55	0.55	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	
	(ETp * Kc)			75.02	67.76	69.91	68.40	63.24	57.60	61.38	66.96	66.00	73.32	66.00	68.20	
	(ETp * Kc - PE 98%) * 10		(m3/ha*mes)	340.97	385.90	456.66	599.27	578.74	566.01	611.73	669.60	660.00	733.15	514.63	424.42	
	Eficiencia de Riego	Er		0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	(((ETp * Kc - PE 98%) * 10) * A)/ Er		10³ m³/mes	59.67	67.53	79.92	104.87	101.28	99.05	107.05	117.18	115.50	128.30	90.06	74.27	1144.68
			Area													
	Cultivo		(ha)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
4	YUCA		146.40													
	Evapotranspiración Potencial	ETp	(mm/mes)	136.40						102.30	111.60	120.00	133.30	132.00	136.40	
	Precipitación Efectiva 98%	PE 98%	(mm)	40.92						0.21	0.00	0.00	0.00	14.54	25.76	
	Coeficiente de cultivo	Kc		0.88						0.15	0.15	0.15	1.05	1.05	1.05	
	(ETp * Kc)			120.03						15.35	16.74	18.00	139.97	138.60	143.22	
	(ETp * Kc - PE 98%) * 10		(m3/ha*mes)	791.09						151.38	167.40	180.00	1399.65	1240.63	1174.62	
	Eficiencia de Riego	Er		0.68						0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	(((ETp * Kc - PE 98%) * 10) * A)/ Er		10³ m³/mes	170.32						32.59	36.04	38.75	301.34	267.10	252.89	1099.02
			Area													
	Cultivo		(ha)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
5	PLATANO		174.00													
	Evapotranspiración Potencial	ETp	(mm/mes)						96.00	102.30	111.60	120.00	133.30	132.00	136.40	
	Precipitación Efectiva 98%	PE 98%	(mm)						1.00	0.21	0.00	0.00	0.00	14.54	25.76	
	Coeficiente de cultivo	Kc							0.75	0.70	0.75	0.90	1.05	1.10	1.05	
	(ETp * Kc)								72.00	71.61	83.70	108.00	139.97	145.20	143.22	
	(ETp * Kc - PE 98%) * 10		(m3/ha*mes)						710.01	714.03	837.00	1080.00	1399.65	1306.63	1174.62	
	Eficiencia de Riego	Er							0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	(((ETp * Kc - PE 98%) * 10) * A)/ Er		10³ m³/mes						181.68	182.71	214.17	276.35	358.15	334.34	300.56	1847.96

Cuadro 5.21: Irrigación Chavini – Demanda total Hídrica

Descripcion		Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
DEMANDA HIDRICA AGRICOLA															
Cultivo	Area	Unidad													
1 CAFÉ	400.30	10 ³ m ³ /mes	481.753	481.01	530.697	554.101	526.83	502.74	540.77				613.77	571.03	4802.69
2 CACAO	385.60	10 ³ m ³ /mes	386.715	393.48	439.135	501.431	477.6	457.06	491.91	537.91	544.38	604.71	478.95	434.04	5747.31
3 CITRICOS	119.00	10 ³ m ³ /mes	59.6691	67.532	79.9152	104.872	101.28	99.052	107.05	117.18	115.5	128.3	90.06	74.273	1144.68
4 YUCA	146.40	10 ³ m ³ /mes	170.316						32.591	36.04	38.753	301.34	267.1	252.89	1099.02
5 PLATANO	174.00	10 ³ m ³ /mes						181.68	182.71	214.17	276.35	358.15	334.34	300.56	1847.96
Total	1225.3	10 ³ m ³ /mes	1098.45	942.02	1049.75	1160.40	1105.70	1240.52	1355.04	905.31	974.98	1392.49	1784.22	1632.79	14641.68
		MMC	1.098	0.942	1.050	1.160	1.106	1.241	1.355	0.905	0.975	1.392	1.784	1.633	14.64
DEMANDA HIDRICA POBLACIONAL															
		(l/s)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		MMC	0.268	0.242	0.268	0.259	0.268	0.259	0.268	0.268	0.259	0.268	0.259	0.268	3.154
DEMANDA HIDRICA TOTAL															
(El sistema opera al 100%, 24 hr)		MMC	1.366	1.184	1.318	1.420	1.374	1.500	1.623	1.173	1.234	1.660	2.043	1.901	17.795
EL SISTEMA OPERA 12 HORAS DIARIAS															
DEMANDA HIDRICA TOTAL	MMC		2.733	2.368	2.635	2.839	2.747	2.999	3.246	2.346	2.468	3.321	4.087	3.801	35.591
DEMANDA HIDRICA TOTAL	(m ³ /s)		1.020	0.979	0.984	1.095	1.026	1.157	1.212	0.876	0.952	1.240	1.577	1.419	1.13
EL SISTEMA OPERA 18 HORAS DIARIAS															
DEMANDA HIDRICA TOTAL	MMC		1.822	1.579	1.757	1.893	1.831	2.000	2.164	1.564	1.646	2.214	2.725	2.534	23.727
DEMANDA HIDRICA TOTAL	(m ³ /s)		0.680	0.653	0.656	0.730	0.684	0.771	0.808	0.584	0.635	0.827	1.051	0.946	0.75
EL SISTEMA OPERA 24 HORAS DIARIAS															
DEMANDA HIDRICA TOTAL	MMC		1.366	1.184	1.318	1.420	1.374	1.500	1.623	1.173	1.234	1.660	2.043	1.901	17.795
DEMANDA HIDRICA TOTAL	(m ³ /s)		0.510	0.489	0.492	0.548	0.513	0.579	0.606	0.438	0.476	0.620	0.788	0.710	0.56

En cuanto a las consideraciones de operación del sistema se considera que éste operaría al 75% de su capacidad total y en situaciones de 24 horas de riego al día.

El Cuadro 5.21 resume la demanda hídrica total, tanto poblacional y agrícola, a confrontarse en el balance hídrico con la oferta hídrica del Río Chavini.

5.5 RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO CHAVINI

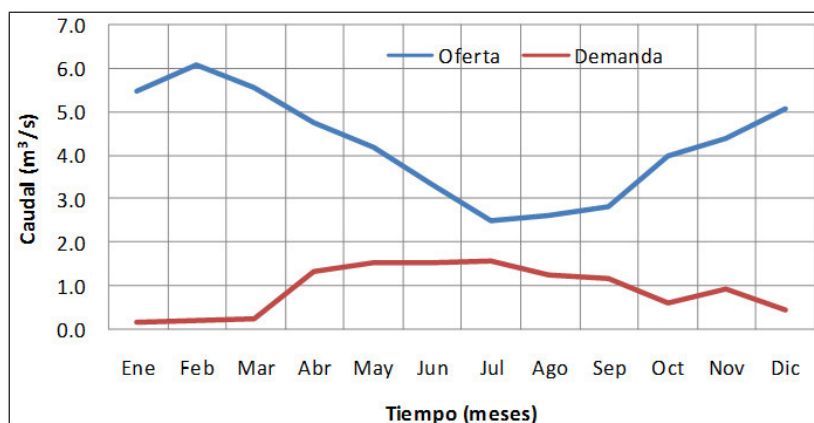
Definida la demanda hídrica total que está compuesta por la demanda poblacional y demanda agrícola, se procedió a confrontarla con la oferta hídrica al 75% de persistencia para el río Chavini a nivel mensual. En el Cuadro 5.22 se presentan el balance hídrico, que muestra excedentes en todos los meses y por lo tanto sin déficit hídrico alguno en los meses del año, para la cédula de cultivos propuesta. Ver Figura 5.14.

Cuadro 5.22: Irrigación Chavini – Balance Hídrico con los Recurso de los ríos Chavini

Descripcion	Unidad Días	E 31	F 28	M 31	A 30	M 31	J 30	J 31	A 31	S 30	O 31	N 30	D 31	AÑO 365
OFERTA HIDRICA Q 98%	(m ³ /s)	1.80	2.01	1.83	1.57	1.38	1.10	0.82	0.85	0.93	1.32	1.45	1.67	1.39
Río Chavini	(m ³ /s)	1.80	2.01	1.83	1.57	1.38	1.10	0.82	0.85	0.93	1.32	1.45	1.67	1.39
DEMANDA HIDRICA TOTAL	(m ³ /s)	0.510	0.489	0.492	0.548	0.513	0.579	0.606	0.438	0.476	0.620	0.788	0.710	0.564
BALANCE HIDRICO		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
DEFICIT	(m ³ /s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
SUPERAVIT	(m ³ /s)	1.29	1.52	1.34	1.02	0.87	0.52	0.21	0.41	0.45	0.70	0.66	0.96	

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5.7: Diagrama Oferta – Demanda – Irrigación Chavini.



Fuente: Elaboración propia.

En el plano 06, se presenta el sistema de conducción desde la bocatoma del Proyecto de Irrigación Chavini hasta la zona de irrigación.

5.6 DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA RÍO CHAVINI.

El objetivo del presente capítulo es la determinación los caudales de las máximas avenidas para diferentes períodos de retorno en el punto de interés de la cuenca del río Chavini, representado por el sitio de emplazamiento de bocatoma de las área a ser irrigadas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, dentro del área de estudio no se tiene estaciones hidrométricas que registren el caudal aportado por las cuencas del río Chavini, pero cerca de estas cuencas se encuentra ubicada la estación Satipo, que cuenta con registros de la Precipitación Máxima en 24 horas, para el período de 1964-2009.

Con esta información, se ha procedido a efectuar el cálculo de lluvia para determinar la capacidad de las estructuras dentro de su periodo de vida asignada teniendo en cuenta el punto de vista económico. Este cálculo se basa en las posibilidades de excedencia o no excedencia de las frecuencias de lluvia según los métodos de distribución de valores extremos como son: Gumbell, Normal, Log Normal, y de Log Pearson Tipo III, para calcular precipitaciones para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Con estas precipitaciones se procedió a la transformación de dicha lluvia en volumen de esorrentía, el método utilizando el Soil Conservation Service (SCS).

5.6.1 Información básica utilizada

La información hidrometeorológica disponible en la zona de estudio corresponde a información pluviométrica con registros de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Satipo, cuyas características se presentan en el Cuadro 5.23

Cuadro 5.23: Estación meteorológica Satipo en la Cuenca del río Chavini

Estación	Tipo	Entidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Período
Satipo	CO	SENAMHI	11° 13' S"	74° 37' W	660	1964 - 2009

Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

5.6.2 Precipitación máxima diaria

Para este rubro se usa la información registrada por la estación Satipo, que se ha hecho extensiva para la cuenca del río Chavini, específicamente para el punto de ubicación de la bocatoma de las zonas a irrigar. En el Cuadro 5.24 se presenta el diagrama de barras de la información de precipitación máxima en 24 horas registrada en la estación de Satipo.

Cuadro 5.24: Diagrama de Barras de Información de Precipitación Máxima en 24 Horas – Estación Satipo

Información	Estacion	Desde	Hasta	19..																							
				64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Precip.Max. 24 Hrs	Satipo	1964	1986																								

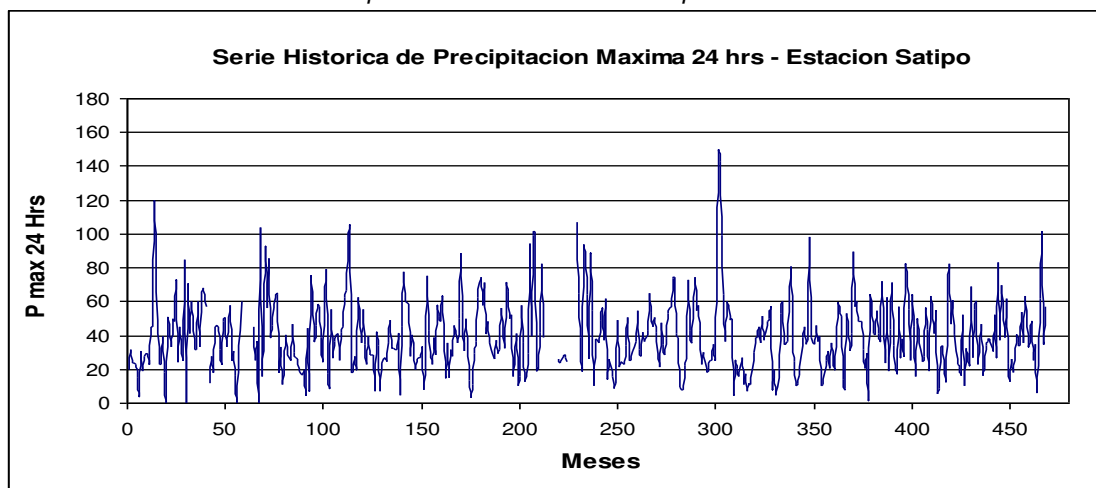
Información	Estacion	Desde	Hasta	19..														200.										
				87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Precip.Max. 24 Hrs	Satipo	1987	2009																									

Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

La información de precipitación máxima en 24 horas histórica registrada en la estación de Satipo se muestra en el Cuadro 5.25. De la inspección de esta información, resulta que no cuenta con datos para todo el período 1983-1989, y de igual forma carece de información en varios meses para los años 1967, 1968, 1969, 1981 y 1982.

En los análisis de esta información no han sido considerados el período 1983-1989, mientras que los datos puntuales faltantes de los años 1967, 1968, 1969, 1981 y 1982 fueron completados con el promedio histórico 1964-2009. En la Figura 5.7 se muestra la serie histórica de precipitación máxima en 24 horas completada de la estación Satipo.

Figura 5.8: Serie Histórica de Precipitación Máxima en 24 Horas Completada de la Estación Satipo



Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

Cuadro 5.25: Precipitación Máxima en 24 Hrs (mm) – Estación Satipo

DEPARTAMENTO: JUNIN
PROVINCIA: SATIPO
DISTRITO: SATIPO

LATITUD: 11° 13' S"
LONGITUD: 74° 37' W
ALTITUD: 660 msnm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PMAX
1964	19,8	32,0	24,0	23,0	15,0	5,1	31,0	19,0	28,0	29,0	23,5	45,0	45,0
1965	45,0	119,0	80,0	23,0	23,0	40,0	18,0	0,0	50,0	33,0	50,0	48,0	119,0
1966	72,0	25,0	45,0	26,0	85,0	0,0	70,0	41,0	60,0	32,0	32,0	60,0	85,0
1967	33,0	60,0	68,0	57,0	34,0	12,0	28,0	19,0	45,0	45,0	32,0	24,0	68,0
1968	48,0	51,0	33,0	58,0	26,1	31,0	17,0	0,0	26,0	60,0	39,0	44,6	60,0
1969	50,8	54,1	47,2	45,0	25,0	36,0	0,0	104,0	16,0	92,0	56,0	85,7	104,0
1970	40,0	46,0	56,0	64,0	19,0	33,0	11,0	20,2	40,2	30,8	26,4	47,0	64,0
1971	29,9	27,1	26,5	19,4	16,6	19,9	5,3	44,5	8,2	74,4	37,0	45,6	74,4
1972	58,7	57,2	39,0	26,0	79,5	17,1	9,7	55,8	28,1	36,6	41,0	25,2	79,5
1973	42,2	45,0	62,7	66,6	104,6	19,0	18,6	27,5	20,8	63,0	35,5	55,6	104,6
1974	35,2	22,8	39,4	28,8	28,2	7,2	41,0	34,2	7,2	23,6	27,2	24,2	41,0
1975	35,6	49,0	33,6	32,8	31,8	40,5	4,8	45,2	77,4	60,0	59,0	27,6	77,4
1976	40,2	33,4	20,2	26,2	26,8	32,2	7,6	21,2	75,2	42,8	22,8	38,6	75,2
1977	28,2	56,8	51,4	48,2	62,8	16,2	35,8	15,4	31,8	27,8	45,8	35,4	62,8
1978	49,8	88,6	54,2	31,2	50,0	13,8	3,4	11,4	29,4	36,2	62,4	74,6	88,6
1979	58,0	71,4	42,2	48,4	35,4	28,4	26,2	37,4	29,2	31,4	56,4	32,4	71,4
1980	70,4	65,8	50,0	52,4	16,2	41,2	10,2	15,8	58,2	35,4	12,8	29,0	70,4
1981	94,4	39,4	98,8	101,2	21,4	42,0	82,8	38,6	35,7	45,3	39,0	44,6	101,2
1982	50,8	54,1	47,2	25,8	24,0	28,8	26,8	24,4	35,7	51,8	39,0	44,6	54,1
1990	106,8	65,4	38,6	21,4	92,0	64,4	26,4	87,8	54,8	10,6	38,4	35,8	106,8
1991	49,0	55,6	37,6	62,2	15,2	25,8	16,0	8,8	12,2	48,8	21,6	24,8	62,2
1992	23,0	33,8	50,4	25,8	25,2	31,0	36,6	55,0	31,4	28,0	42,4	36,6	55,0
1993	42,8	64,8	54,0	45,0	51,0	42,4	21,6	47,4	35,2	28,6	37,9	53,4	64,8
1994	59,0	74,0	74,6	41,2	38,8	9,2	8,2	22,0	26,0	72,6	42,6	36,6	74,6
1995	74,4	54,4	58,0	43,0	22,6	30,0	18,6	21,4	25,2	25,4	34,8	25,8	74,4
1996	149,0	142,4	99,4	64,6	36,1	60,1	48,8	50,2	5,4	24,4	20,8	15,7	149,0
1997	26,8	11,1	17,2	7,1	12,2	10,9	30,5	38,9	39,0	45,5	36,0	51,8	51,8
1998	37,5	48,4	49,8	56,0	8,4	20,1	5,0	20,6	53,0	60,3	36,0	34,8	60,3
1999	36,1	81,2	38,2	24,6	10,5	11,8	17,0	38,5	45,3	35,2	37,5	98,5	98,5
2000	38,7	34,8	45,7	36,5	40,0	10,7	11,1	25,3	30,9	20,5	35,6	28,7	45,7
2001	20,7	59,0	53,8	51,9	14,2	8,4	53,4	30,9	41,6	89,7	57,0	60,6	89,7
2002	48,7	48,1	32,1	20,9	28,6	2,1	63,8	41,3	40,4	54,6	41,5	36,9	63,8
2003	71,9	23,4	62,3	19,0	43,7	71,6	34,0	18,5	57,1	27,8	38,0	28,2	71,9
2004	81,5	55,5	25,6	63,7	45,5	15,5	49,5	40,0	24,4	27,7	55,5	43,9	81,5
2005	19,4	63,2	41,0	53,7	5,8	9,0	28,8	34,4	13,2	59,6	82,8	46,5	82,8
2006	61,2	40,4	22,6	21,7	17,5	52,3	10,5	32,6	22,6	68,7	27,2	55,9	68,7
2007	59,7	22,8	47,0	17,6	21,8	34,4	36,3	37,7	32,0	52,2	28,0	83,4	83,4
2008	37,5	69,8	38,7	61,5	24,1	12,4	26,3	18,5	40,0	36,0	34,4	53,7	69,8
2009	35,3	63,7	34,4	40,4	47,4	25,5	35,0	7,0	61,5	100,9	36,1	57,2	100,9
MAX.	149,0	142,4	99,4	101,2	104,6	71,6	82,8	104,0	77,4	100,9	82,8	98,5	149,0
MIN.	19,4	11,1	17,2	7,1	5,8	0,0	0,0	0,0	5,4	10,6	12,8	15,7	41,0
PROM.	50,8	54,1	47,2	40,5	34,0	25,9	26,3	32,1	35,7	45,3	39,0	44,6	77,0
DEVEST.	25,7	25,2	18,8	19,4	23,3	17,3	19,2	20,7	17,5	21,0	13,4	18,2	21,9

Información completada con promedio del mes del período 1964-2009

Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

5.6.3 Análisis de Frecuencias

Los registros de precipitaciones máximas en 24 horas completadas fueron analizadas estadísticamente mediante las distribuciones de Gumbell, Normal, Log Normal y Log Pearson Tipo III, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 5.26 y Cuadro 5.27, así como en la Figura 5.9 se presenta la gráfica de las distribuciones empleadas.

Cuadro 5.26: Ajuste de Funciones de Distribución de Probabilidades de las Precipitaciones Máximas de 24 Horas (mm) – Estación Satipo

Nº	Año	Precp	y = Ln x	X Ordenado	Y = Ln X Ordenado	Probab. Empírica Weibull	Distribución			
		X					Gumbel	Normal	Log Normal	Log Pearson 3
1	1964	45,00	3,81	149,00	5,00	97,50	98,65	99,95	99,45	99,95
2	1965	119,00	4,78	119,00	4,78	95,00	93,71	97,28	95,76	95,12
3	1966	85,00	4,44	106,80	4,67	92,50	88,45	91,39	90,82	90,17
4	1967	68,00	4,22	104,60	4,65	90,00	87,14	89,70	89,51	88,92
5	1968	60,00	4,09	104,00	4,64	87,50	86,76	89,20	89,12	88,55
6	1969	104,00	4,64	101,20	4,62	85,00	84,85	86,63	87,15	86,68
7	1970	64,00	4,16	100,90	4,61	82,50	84,63	86,34	86,92	86,46
8	1971	74,40	4,31	98,50	4,59	80,00	82,77	83,79	84,96	84,61
9	1972	79,50	4,38	89,70	4,50	77,50	74,15	72,01	75,61	75,67
10	1973	104,60	4,65	88,60	4,48	75,00	72,85	70,29	74,17	74,31
11	1974	41,00	3,71	85,00	4,44	72,50	68,24	64,36	69,06	69,40
12	1975	77,40	4,35	83,40	4,42	70,00	66,01	61,60	66,58	67,01
13	1976	75,20	4,32	82,80	4,42	67,50	65,15	60,54	65,61	66,08
14	1977	62,80	4,14	81,50	4,40	65,00	63,22	58,24	63,47	64,00
15	1978	88,60	4,48	79,50	4,38	62,50	60,12	54,64	60,01	60,63
16	1979	71,40	4,27	77,40	4,35	60,00	56,68	50,81	56,20	56,89
17	1980	70,40	4,25	75,20	4,32	57,50	52,91	46,80	52,03	52,76
18	1981	101,20	4,62	74,60	4,31	55,00	51,85	45,71	50,87	51,60
19	1982	54,10	3,99	74,40	4,31	52,50	51,49	45,35	50,48	51,21
20	1990	106,80	4,67	74,40	4,31	50,00	51,49	45,35	50,48	51,21
21	1991	62,20	4,13	71,90	4,28	47,50	46,95	40,86	45,52	46,24
22	1992	55,00	4,01	71,40	4,27	45,00	46,02	39,97	44,51	45,22
23	1993	64,80	4,17	70,40	4,25	42,50	44,15	38,22	42,49	43,17
24	1994	74,60	4,31	69,80	4,25	40,00	43,02	37,17	41,27	41,93
25	1995	74,40	4,31	68,70	4,23	37,50	40,93	35,29	39,03	39,64
26	1996	149,00	5,00	68,00	4,22	35,00	39,60	34,10	37,61	38,19
27	1997	51,80	3,95	64,80	4,17	32,50	33,47	28,91	31,15	31,54
28	1998	60,30	4,10	64,00	4,16	30,00	31,95	27,67	29,57	29,89
29	1999	98,50	4,59	63,80	4,16	27,50	31,57	27,37	29,18	29,48
30	2000	45,70	3,82	62,80	4,14	25,00	29,68	25,86	27,23	27,45
31	2001	89,70	4,50	62,20	4,13	22,50	28,56	24,98	26,08	26,25
32	2002	63,80	4,16	60,30	4,10	20,00	25,07	22,31	22,55	22,53
33	2003	71,90	4,28	60,00	4,09	17,50	24,53	21,90	22,00	21,96
34	2004	81,50	4,40	55,00	4,01	15,00	16,15	15,76	13,80	13,35
35	2005	82,80	4,42	54,10	3,99	12,50	14,79	14,79	12,52	11,99
36	2006	68,70	4,23	51,80	3,95	10,00	11,60	12,49	9,55	8,86
37	2007	83,40	4,42	45,70	3,82	7,50	5,18	7,64	3,88	3,02
38	2008	69,80	4,25	45,00	3,81	5,00	4,64	7,19	3,43	2,58
39	2009	100,90	4,61	41,00	3,71	2,50	2,28	5,00	1,54	0,78

Bondad de Ajuste (Smirnov-Kolmogorov), para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$	Delta crítico (Δ_c) =	0,22	0,07	0,11	0,05	0,05
---	--------------------------------	------	------	------	-------------	------

Media	$\alpha =$	76,95	4,31
Desv. Est.	$\beta =$	21,86	0,27
Coef. Simetría	$\gamma =$	1,03	0,12

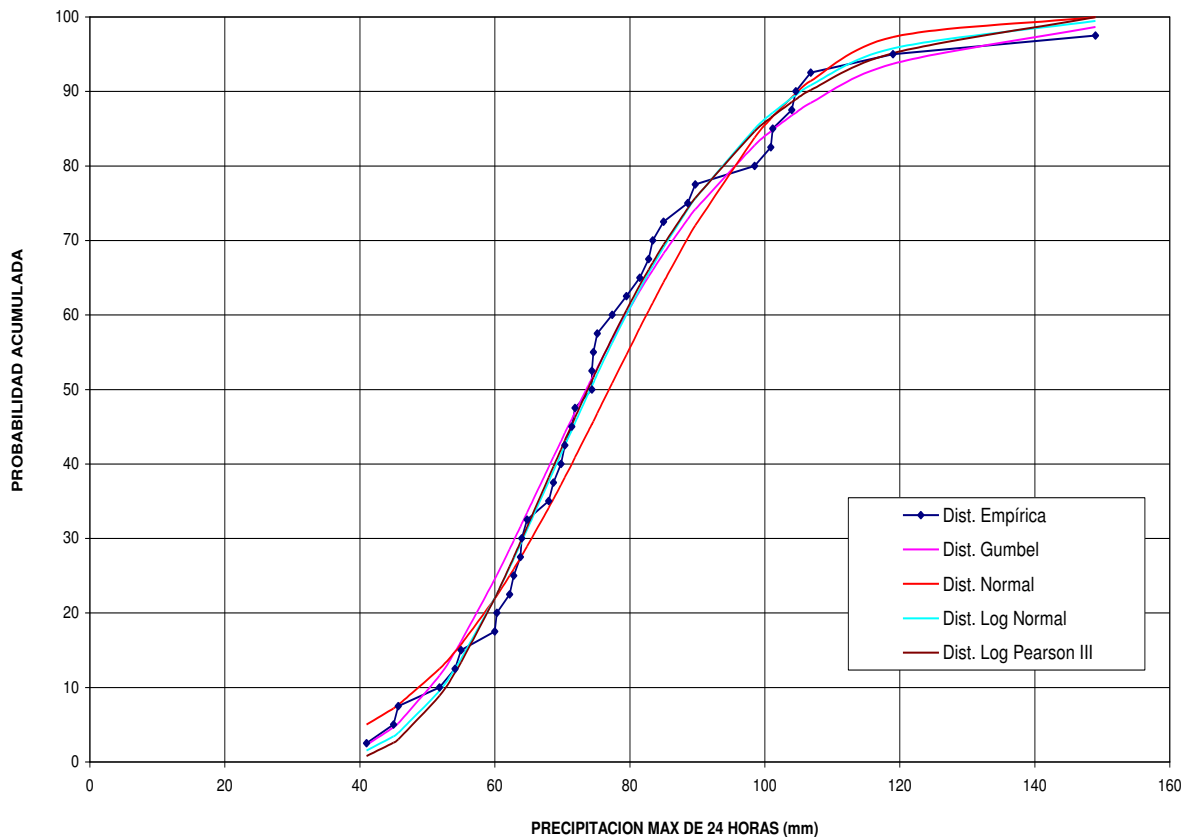
Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

Cuadro 5.27: Ajuste de las Precipitaciones Máximas de 24 Horas (mm) a la Función de Distribución de Probabilidades Log Pearson Tipo III – Estación Satipo

Nº	Año	X_i	$Y_i = \ln X_i$	Y_i Ordenado	X_i Ordenado	$f(x) - LP3$ Densidad	Area	$F(x)$ Acumul.	$1-F(x)$ Acumul.	Probab. Empírica	$100(1-F)$ Acumul.
1	1964	45,00	3,81	5,00	149,00	0,000	0,000	0,0005	0,9995	0,982	99,953
2	1965	119,00	4,78	4,78	119,00	0,003	0,048	0,0488	0,9512	0,964	95,124
3	1966	85,00	4,44	4,67	106,80	0,005	0,050	0,0983	0,9017	0,945	90,173
4	1967	68,00	4,22	4,65	104,60	0,006	0,013	0,1108	0,8892	0,927	88,919
5	1968	60,00	4,09	4,64	104,00	0,006	0,004	0,1145	0,8855	0,909	88,552
6	1969	104,00	4,64	4,62	101,20	0,007	0,019	0,1332	0,8668	0,891	86,679
7	1970	64,00	4,16	4,61	100,90	0,007	0,002	0,1354	0,8646	0,873	86,463
8	1971	74,40	4,31	4,59	98,50	0,008	0,019	0,1539	0,8461	0,855	84,610
9	1972	79,50	4,38	4,50	89,70	0,012	0,089	0,2433	0,7567	0,836	75,672
10	1973	104,60	4,65	4,48	88,60	0,013	0,014	0,2569	0,7431	0,818	74,306
11	1974	41,00	3,71	4,44	85,00	0,015	0,049	0,3060	0,6940	0,800	69,404
12	1975	77,40	4,35	4,42	83,40	0,015	0,024	0,3299	0,6701	0,782	67,011
13	1976	75,20	4,32	4,42	82,80	0,016	0,009	0,3392	0,6608	0,764	66,079
14	1977	62,80	4,14	4,40	81,50	0,016	0,021	0,3600	0,6400	0,745	63,997
15	1978	88,60	4,48	4,38	79,50	0,017	0,034	0,3937	0,6063	0,727	60,629
16	1979	71,40	4,27	4,35	77,40	0,018	0,037	0,4311	0,5689	0,709	56,886
17	1980	70,40	4,25	4,32	75,20	0,019	0,041	0,4724	0,5276	0,691	52,758
18	1981	101,20	4,62	4,31	74,60	0,019	0,012	0,4840	0,5160	0,673	51,599
19	1982	54,10	3,99	4,31	74,40	0,020	0,004	0,4879	0,5121	0,655	51,209
20	1990	106,80	4,67	4,31	74,40	0,020	0,000	0,4879	0,5121	0,636	51,209
21	1991	62,20	4,13	4,28	71,90	0,020	0,050	0,5376	0,4624	0,618	46,235
22	1992	55,00	4,01	4,27	71,40	0,020	0,010	0,5478	0,4522	0,600	45,218
23	1993	64,80	4,17	4,25	70,40	0,021	0,021	0,5683	0,4317	0,582	43,168
24	1994	74,60	4,31	4,25	69,80	0,021	0,012	0,5807	0,4193	0,564	41,929
25	1995	74,40	4,31	4,23	68,70	0,021	0,023	0,6036	0,3964	0,545	39,645
26	1996	149,00	5,00	4,22	68,00	0,021	0,015	0,6181	0,3819	0,527	38,185
27	1997	51,80	3,95	4,17	64,80	0,021	0,066	0,6846	0,3154	0,509	31,538
28	1998	60,30	4,10	4,16	64,00	0,021	0,016	0,7011	0,2989	0,491	29,891
29	1999	98,50	4,59	4,16	63,80	0,020	0,004	0,7052	0,2948	0,473	29,481
30	2000	45,70	3,82	4,14	62,80	0,020	0,020	0,7255	0,2745	0,455	27,450
31	2001	89,70	4,50	4,13	62,20	0,020	0,012	0,7375	0,2625	0,436	26,245
32	2002	63,80	4,16	4,10	60,30	0,019	0,037	0,7747	0,2253	0,418	22,531
33	2003	71,90	4,28	4,09	60,00	0,019	0,006	0,7804	0,2196	0,400	21,959
34	2004	81,50	4,40	4,01	55,00	0,015	0,086	0,8665	0,1335	0,382	13,347
35	2005	82,80	4,42	3,99	54,10	0,015	0,014	0,8801	0,1199	0,364	11,990
36	2006	68,70	4,23	3,95	51,80	0,013	0,031	0,9114	0,0886	0,345	8,861
37	2007	83,40	4,42	3,82	45,70	0,007	0,058	0,9698	0,0302	0,327	3,022
38	2008	69,80	4,25	3,81	45,00	0,006	0,004	0,9742	0,0258	0,309	2,581
39	2009	100,90	4,61	3,71	41,00	0,003	0,018	0,9922	0,0078	0,291	0,776

Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

Figura 5.9: Ajuste de Distribuciones de Probabilidad de Precipitación Máxima en 24 Horas - Estación Satipo



Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

Se determinó las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno para las distribuciones Normal, Log Normal, Log Pearson III y Gumbel, y se adoptó la distribución Log Normal, como la que mejor refleja el fenómeno y por tener el menor error de estimación (ver Cuadro 5.28).

Las precipitaciones máximas en 24 horas para períodos de retorno de 2, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años para las distribuciones empleadas se presentan en el Cuadro 5.22.

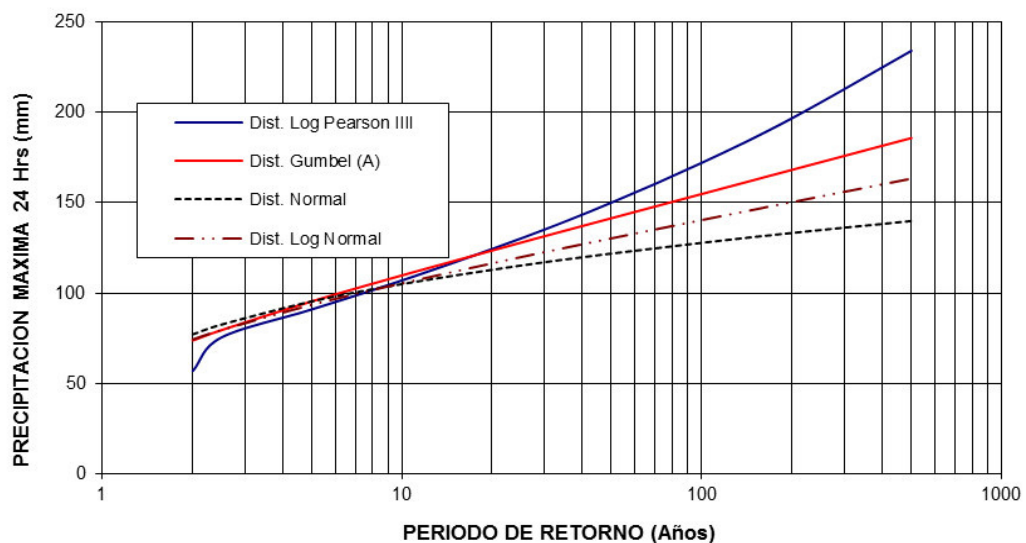
En la Figura 5.10. se muestra la gráfica entre las precipitaciones máximas en 24 horas versus tiempos de retorno para la estación Satipo.

Cuadro 5.28: Precipitaciones Máximas de 24 Horas (mm) para Diferentes Períodos de Retorno (años) obtenidas para diferentes funciones de Distribución - Estación Satipo

Período de Retorno	P	Distribución Normal	Distribución Log Normal	Log Pearson III	Gumbel
T		X_T	X_T	X_T	X_T
2.0	0.5000	77.1	74.3	56.8	73.7
2.5	0.4000	82.5	79.5	75.4	79.4
5.0	0.2000	95.4	93.4	90.9	95.3
10	0.1000	105.0	105.4	106.9	109.7
25	0.0400	115.2	119.9	130.2	127.9
50	0.0200	121.8	130.3	150.0	141.4
100	0.0100	127.8	140.4	172.1	154.8
200	0.0050	133.3	150.3	196.8	168.2
500	0.0020	139.9	163.3	234.1	185.8

Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

Figura 5.10: Precipitación Máxima en 24 Horas versus Tiempo de Retorno Estación Satipo



Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

5.6.4 Caudales máximos de avenidas en el sitio de interés de la cuenca del río Chavini

Para determinar los caudales de máximas avenidas en el sitio de emplazamiento de la bocatoma ubicada en las cuencas del río Chavini se utilizó el método del Soil Conservation Service (SCS).

El método del SCS consiste en estimar un diagrama unitario sintético a partir de las características físicas de la cuenca y usar un perfil de precipitaciones efectivas.

La geometría del hidrograma unitario se muestra en la Figura 5.10, donde se observa un valor típico para cada cuenca, la curva número (CN), que se puede obtener del Figura 5.11 u obtenerlo por calibración.

La precipitación usada es la precipitación máxima en 24 horas, que se corrige por efecto de área (Figura 5.11) y por número de lecturas por día de acuerdo al Cuadro 5.29, basada en “Hidrología para Ingenieros, de Linsley”.

Los perfiles de precipitación propuestos por el SCS se muestran en la Figura 5.13, correspondiendo la de Tipo I a tormentas frontales y la de Tipo II a tormentas de tipo convectivo.

En el caso particular de la cuenca de la bocatoma emplazada en el río Chavini se usa la precipitación máxima en 24 horas obtenida para diferentes períodos de retorno con la distribución de probabilidades Log Normal de la estación Satipo (ver Cuadro 5.28), con los factores de corrección por área de 0.98 y 0.96 respectivamente y por el número de lecturas igual a 1.13 (ver Cuadro 5.29).

Para aplicar el método SCS, hay que conocer el valor de la Curva Número (CN), que se puede asumir o calibrar en caso de conocer caudales y precipitaciones máximas. Para el caso particular de la cuenca del río Chavini, donde se encuentra ubicada la bocatoma de las zonas de irrigación de interés, se adopto una $CN = 80$, en vista de las características actuales de esta cuenca, su cobertura vegetal, pendientes y uso de la tierra.

Además, este valor de CN fue utilizado en el “Estudio de Pre Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa”, elaborado por ATA S.A., en el año 2003. La CN utilizada en el estudio es el resultado de la revisión de antecedentes de CN en diferentes estudios realizados en la Selva peruana, como por ejemplo “Obras Encauzamiento en Oxapampa y Villa Rica – LAGES, Río Gera”, “Moyopampa, San Matín – PEHCBM-WOL”, “Río Perene, Chanchamayo - PEPP-WOL”, entre otros.

En el Cuadro siguiente se presenta los parámetros geomorfológicos de la cuenca hasta la zona de captación en la cuenca del río Chavini.

CUENCA	Area hasta zona de Captación	Longitud del Cauce Principal	Pendiente Media
	(Km ²)	(Km)	(%)
RIO CHAVINI	54.0	15.0	0.1

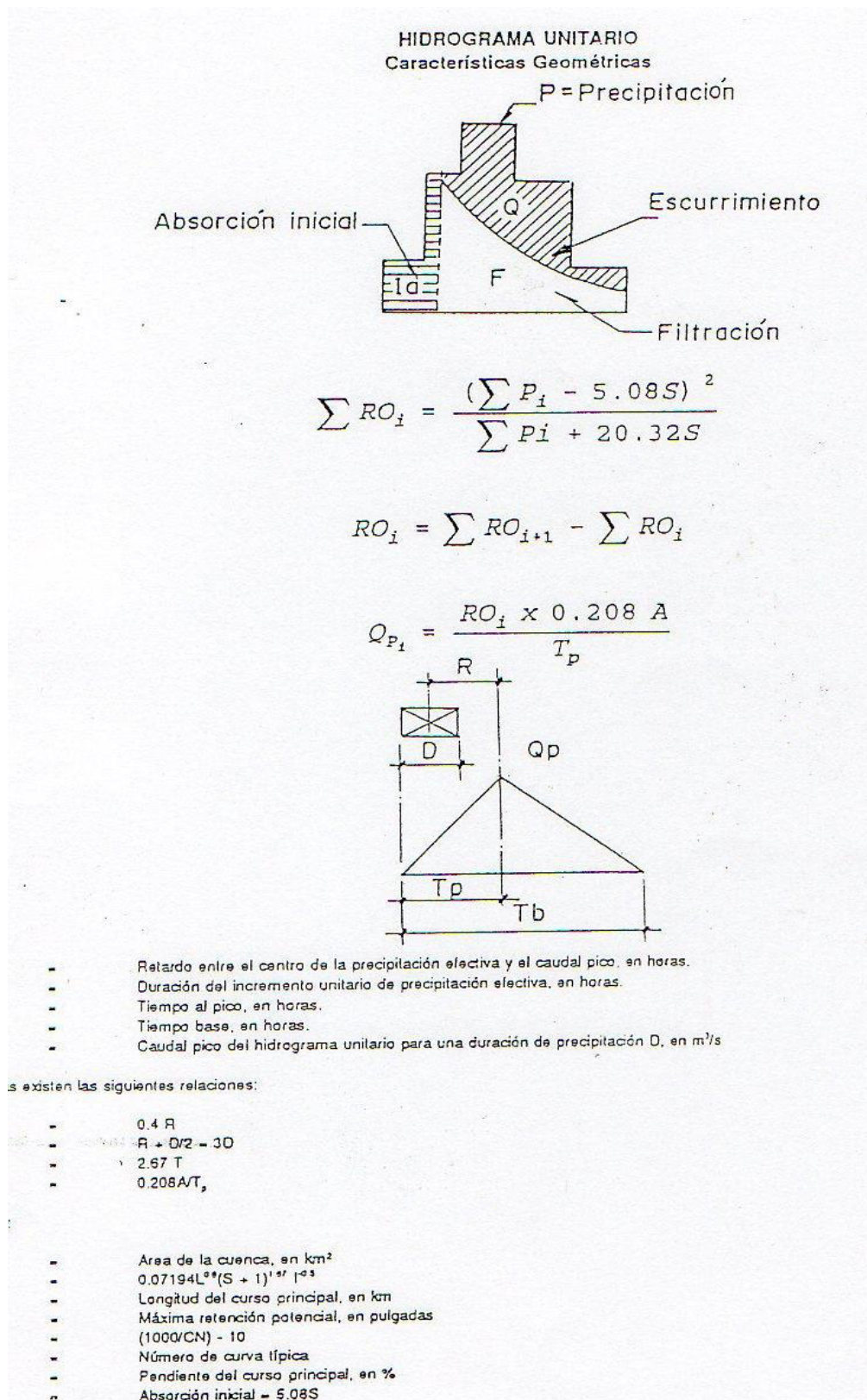
Los resultados de caudales máximos de avenidas para diferentes períodos de retorno empleando el método del SCS, para el sitio de emplazamiento de la bocatoma ubicada en la cuenca del río Chavini, se muestran en el Cuadro 5.25.

En el Cuadro 5.26 se presenta el hidrograma de avenidas determinado para un período de retorno de 2 años en el sitio de ubicación de la bocatoma del proyecto Chavini, ubicado sobre el río del mismo nombre.

En el Anexo C: Cuadro C-1 al Cuadro C-8, se muestran los hidrogramas de avenidas determinados para el sitio de emplazamiento de la bocatoma ubicada en la cuenca del río Chavini, para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

En la Figura 5.13 se presenta las respectivas gráficas de los hidrogramas de máximas avenidas calculadas para los diferentes períodos de retorno en la cuenca del río Chavini.

Figura 5.11: Geometría del Hidrograma Unitario SCS



Cuadro 5.29: Relación entre la Precipitación Máxima Verdadera y Precipitación en Intervalos Fijos

No. De intervalos de observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3 - 4	1.03
5 - 8	1.02
9 - 24	1.01

Fuente: Hidrología para Ingenieros, Linsley, 1977.

Cuadro 5.30: Caudales Máximos de Avenidas para Diferentes Períodos De Retorno obtenidos con método SCS en el sitio de emplazamiento de la Bocatoma Ubicada en la Cuenca de río Chavini

TIEMPO DE RETORNO (Años)	PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS (mm)	MAXIMAS AVENIDAS INSTANTANEAS CUENCA RIO CHAVINI (m3/s)
2	74.3	19.4
5	93.4	27
10	105.4	32.9
25	119.9	39.3
50	130.3	43.9
100	140.4	49.3
200	150.3	55.1
500	163.3	61.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.12: Valores de corrección de la Precipitación Máxima 24 horas por efecto de área de Cuenca

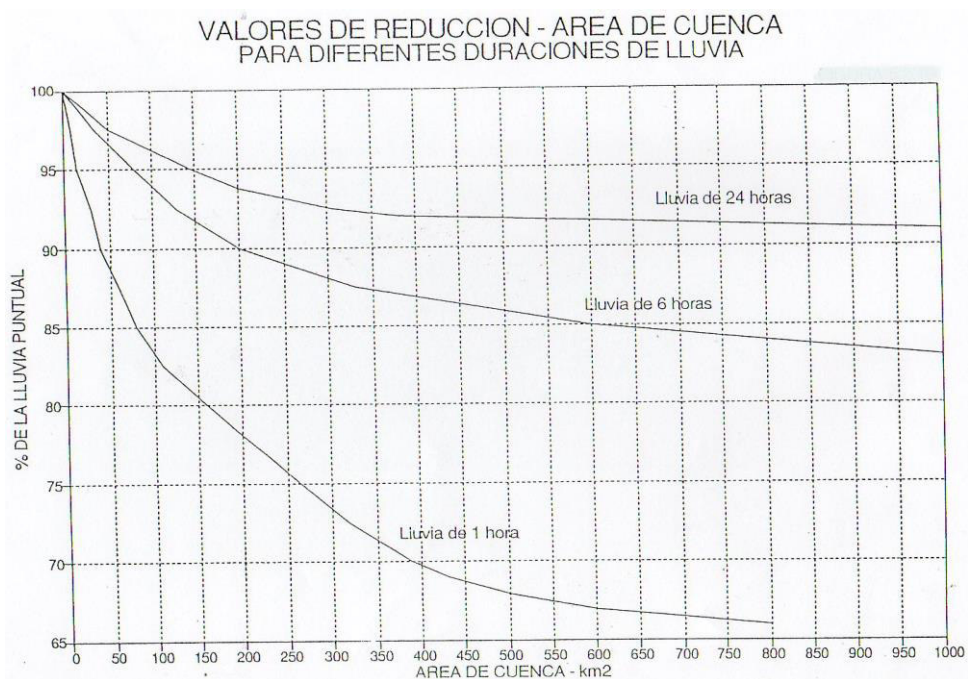
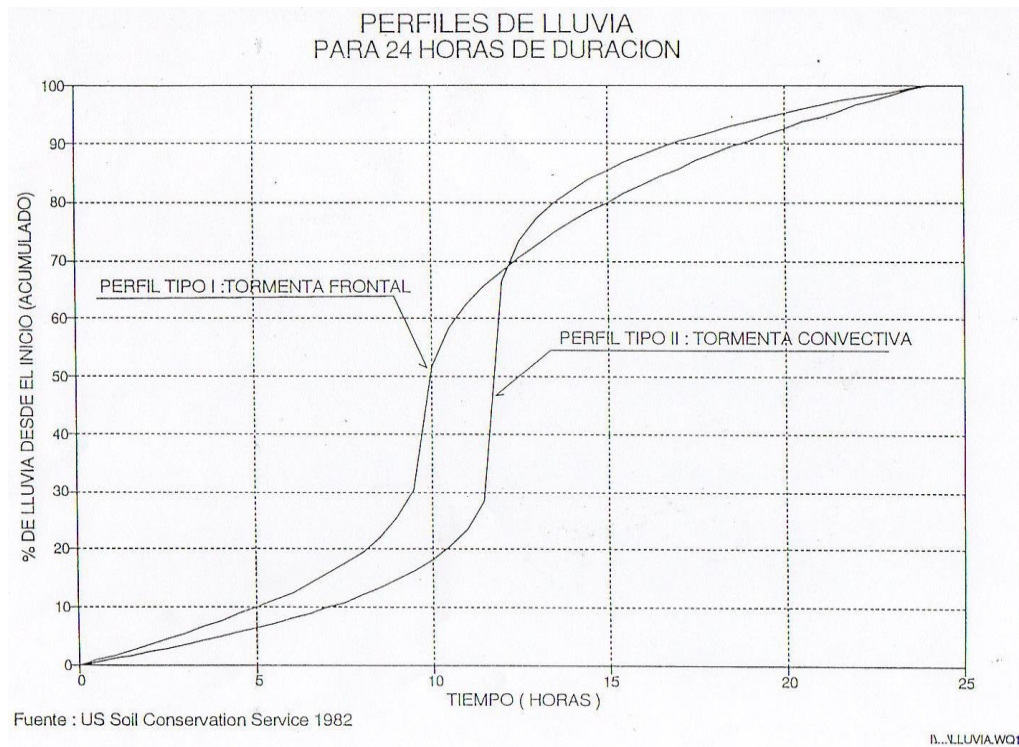


Figura 5.13: Perfiles de lluvia para 24 horas de duración.



Cuadro 5.31: Zona Captación Río Chavini - Hidrograma de Avenidas para un Período de Retorno de 2 Años

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	82,28 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	2 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

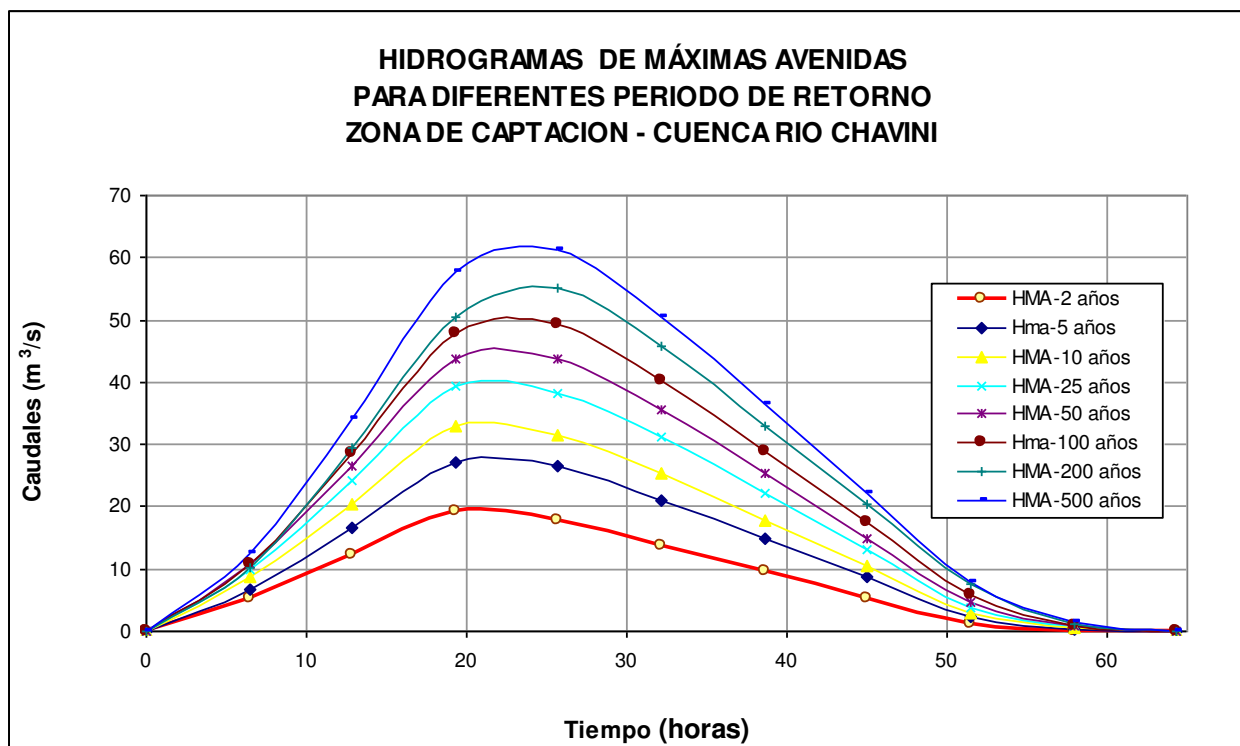
HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA											
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3	
9,0	0	15	12,7	0	0	0												
15,4	6,4	86	70,8	27,7	27,7	16,1	0,0	5,3	10,8	16,1	12,9	9,7	6,5	3,2	0,0			
21,9	12,9	99	81,5	35,7	8,0	4,7		0,0	1,5	3,1	4,7	3,7	2,8	1,9	0,9	0,0		
24,0	19,3	100	82,3	36,4	0,6	0,4			0,0	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	
TOTAL (m ³ /s)							0,0	5,3	12,3	19,4	17,8	13,8	9,5	5,3	1,1	0,1	0,0	

Maximo Caudal = 19,4 m³/s

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.14: Hidrograma de Máximas Avenidas para diferentes Período de Retorno.



Fuente: Elaboración Propia

6. CONCLUSIONES

- a) Del análisis de la información de precipitación total mensual de las estaciones relacionadas con el proyecto de Irrigación Chavini, dio como resultado que la información de precipitación total mensual (1964-2009) registrada en la estación meteorológica Satipo es la más representativa para el área de estudio.
- b) La parte determinística del modelo Lutz-Scholtz, ha sido calibrada y validada teniendo en cuenta los caudales registrados en la C.H. Chavini (1999-2002), se obtuvieron los caudales mensuales teóricos del año promedio y se compararon con los caudales promedio históricos registrados en la estación central Chavini, encontrándose mínimas diferencias, habiendo una diferencia del 6% del caudal anual obtenido por la parte determinística (1.66 m³/s) con respecto al caudal promedio anual registrado en la bocatoma C.H. Chavini (1.76 m³/s).

El análisis de regresión entre los caudales medios mensuales obtenidos por el modelo determinístico y los históricos registrados en la estación central Chavini, da como resultado un coeficiente de determinación de 0.8006 y una correlación de correlación de $R = 0.89$, que es un valor que confirma la validez de los resultados obtenidos con la parte determinística del modelo Lutz-Scholtz.

- c) Se determinó la parte estocástica del modelo Lutz-Scholtz, el cual tiene la siguiente expresión matemática:

$$Q_t = b_1 + b_2 * Q_{t-1} + b_3 * PE_t + S(1 - R^2)^{\frac{1}{2}} * Z_{ti}$$

Dónde:

Q_t : Caudal generado del año t

Q_{t-1} : Caudal del año (t-1)

PE_t : Precipitación efectiva del año t

S : Error estándar

Z : Número aleatorio normal (0,1), del año t

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes de regresión lineal múltiple

Reemplazando los valores de los diferentes parámetros del modelo estocástico, se tiene el siguiente modelo reducido:

$$Q_t = 14.0372 + 0.5776 * Q_{t-1} + 0.2483 * PE_t + 9.51114 * Z_{ti}$$

- d) Con el modelo estocástico determinado en el punto (c), se determinó la serie de caudales medios mensuales en el punto de ubicación de la bocatoma del proyecto de la irrigación Chavini. En el cuadro adjunto se presenta el resumen estadístico de la serie de caudales generada.

Caudales medios mensuales generados (m³/s) en la bocatoma del proyecto Irrigación Chavini

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Prom.	1.94	2.22	2.08	1.86	1.56	1.35	1.16	1.15	1.29	1.52	1.68	1.84	1.64
Max	2.33	2.70	2.88	2.93	2.17	2.09	1.83	1.96	2.33	2.27	2.48	2.35	2.09
Min	1.25	1.24	1.26	1.04	0.92	0.66	0.67	0.57	0.54	0.77	0.84	1.00	1.21

El caudal promedio anual es de 1.64 m³/s, que equivale a 51.72 MMC anuales, el caudal máximo mensual es de 2.93 que se da en el mes de abril del 2008, mientras que el caudal mínimo mensual es de 0.54 m³/s, que se da en el mes de setiembre de 1968.

- e) En balance hídrico para la cédula de cultivo propuesta para el proyecto de irrigación Chavini, muestra excedentes en todos los meses y por lo tanto sin déficit hídrico alguno en los meses del año, tal como se aprecia en el cuadro siguiente:

Balance Hídrico en la Bocatoma del proyecto de irrigación Chavini

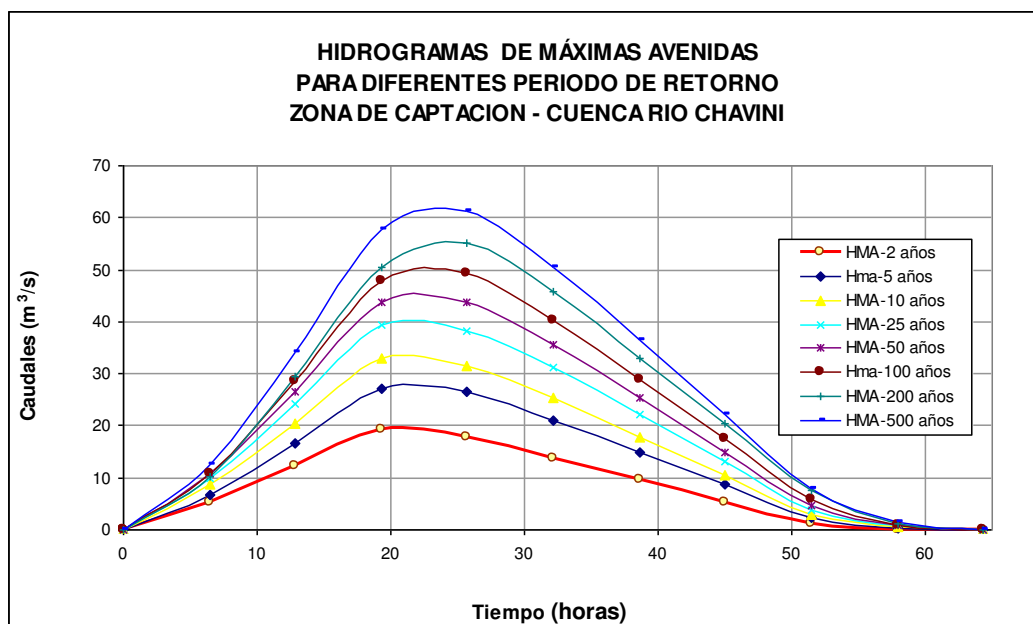
Descripcion	Unidad Días	E 31	F 28	M 31	A 30	M 31	J 30	J 31	A 31	S 30	O 31	N 30	D 31	AÑO 365
OFERTA HIDRICA Q 98%	(m³/s)	1.80	2.01	1.83	1.57	1.38	1.10	0.82	0.85	0.93	1.32	1.45	1.67	1.39
Río Chavini	(m³/s)	1.80	2.01	1.83	1.57	1.38	1.10	0.82	0.85	0.93	1.32	1.45	1.67	1.39
DEMANDA HIDRICA TOTAL	(m³/s)	0.510	0.489	0.492	0.548	0.513	0.579	0.606	0.438	0.476	0.620	0.788	0.710	0.564
BALANCE HIDRICO		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
DERCIT	(m³/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
SUPERAVIT	(m³/s)	1.29	1.52	1.34	1.02	0.87	0.52	0.21	0.41	0.45	0.70	0.66	0.96	

- f) Los caudales de máximas avenidas para diferentes períodos de retorno en el punto de ubicación de la bocatoma del proyecto de irrigación Chavini, fueron obtenidos con

el método SCS, utilizando la información de precipitación máxima en 24 hrs registrada en la estación Satipo (1964-2009), resultados que se muestran en el cuadro siguiente.

Caudales máximos instantáneos en la Bocatoma del proyecto de irrigación Chavini

TIEMPO DE RETORNO	PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS	MAXIMAS AVENIDAS INSTANTANEAS C U E N C A RIO CHAVINI
(Años)	(mm)	(m3/s)
2	74.3	19.4
5	93.4	27
10	105.4	32.9
25	119.9	39.3
50	130.3	43.9
100	140.4	49.3
200	150.3	55.1
500	163.3	61.2



7. RECOMENDACIONES

- a. Recomendar al Proyecto Especial Pichi Palcazu, la implementación de una estación pluviográfica dentro del área de la cuenca aportante a la bocatoma del proyecto de irrigación Chavini, esto con la finalidad de contar con información de precipitación total mensual y de precipitaciones máxima en 24 hrs para la mejora y verificación de los resultados obtenidos con la parte determinística del modelo Lutz-Schotlz.
- b. Se sugiere que la entidad administradora de la central hidroeléctrica Chavini, tener actualizada la información de caudales medios mensuales captados en la toma de captación en época de avenidas y época de estiaje, y los caudales rebosados por el vertedero de la toma en época de avenidas.
- c. Recomendar al Proyecto Especial Pichi Palcazu, la implementación de los resultados obtenidos en la presente Tesis en el Proyecto de Irrigación Chavini como un aporte a la solución de problemas de falta de información de caudales medios mensuales para la planificación y gestión de los recursos hídricos de una cuenca con poca información hidrométrica.
- d. Se recomienda la utilización del modelo determinístico-estocástico Lutz-Schotlz en la gestión, planificación y optimización de los recursos hídricos en cuencas con poca información hidrométrica.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aparicio Mijares, Francisco J. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie, Grupo Noriega Editores, Vol. 2 .México, pp 19-24.
- [2] Monsalve G. (1999), Hidrología en la Ingeniería, Editorial Alfaomega, Segunda Edición, México.
- [3] María de Santa Olalla. J. De Juan Valero (1993). Agronomía del riego. Ed. Mundi, Madrid.
- [4] Linsley Ray K. (1979) Water Resources Engineering. Ed. Mc. Graw-Hill Interamericana.
- [5] Salas, J. D., J. W. Delleur, V. Yevjevich, and W.L. Lane. Applied Modeling of Hydrologic Times Series. WWP, Littleton, Colorado. 2002.
- [6] Vásquez, A. (2012). Principios Básicos del Riego. UNALM "La Molina".
- [7] V.T.Chow, Maidment, Mays (1999) .Hidrología Aplicada, Mc. Graw Hill, Colombia.
- [8] Villón Béjar M. (2011a), "HidroEsta, software para cálculos hidrológicos", Tecnología en marcha, vol. 18, núm. 2 especial, pp. 67–75.
- [9] Campos, A. (1992). Procesos del ciclo hidrológico: Infiltración UASLP. San Luis Potosí, México. 132 p.
- [10] Estudio de Pre - Factibilidad del Sistema de Irrigación Pangoa. ATA S.A. Proyecto Especial Pichis Palcazú (PEPP), Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), Ministerio de Transportes, Vivienda y Construcción, 2003.
- [11] Grassi, J.C. 1987. Diseño y operación de riego por superficie .Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras ,Venezuela.
- [12] Horton, R.E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology". Bulletin the geological society of America, N°13, pp 350-368.

- [13] Jones.J.A.(1997). Global Hydrology: Processes, resources and environment management .London: Addison-Wesley, 399pp
- [14] Martinez de Azagra, A. y Navarro, J. (1996): "Hidrología forestal: el ciclo hidrológico". Universidad de Valladolid. Paraguay.
- [15] M.Jardi (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de variables morfométricas que nos la define, Revista de geografía Vol. XIX, Barcelona, España.
- [16] NRCS (2004). National Engineering Handbook .Part 630: Hydrology, Chapter 10, National Resources Conservation Service.
Se encuentra en: http://policy.nrcs.usda.gov/scripts/lpsiis.dll/H/H_210_630_10.pdf.
- [17] Programa Nacional de Pequeñas Irrigaciones. Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana. Ed. UNALM. Lima. 1997.
- [18] Proyecto de Inversión Pública: Perfil del Sistema de Irrigación Pangoa. Proyecto Especial Pichis Palcazú (PEPP), Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), Ministerio de Transportes, Vivienda y Construcción, 2002.
- [19] Tecnociencia chihuahua Vol. IV N°3, M.I. Delgado y F.J. Gaspari, 2010:"Caracterizacion morfométrica geoespacial .Estudio caso: Arroyo Belisario, Argentina, Buenos Aires.
- [20] Unesco (1981). Métodos de cálculo del Balance Hídrico. Guía internacional de investigación y métodos, pp 18.

ANEXO A: INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

CUADRO A.1: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM) – ESTACIÓN SATIPO

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1964	80.3	104.7	173.9	90.5	56.0	14.1	74.5	37.5	119.0	189.0	153.3	142.0	1234.8
1965	241.0	296.6	295.5	77.5	82.7	46.5	18.0	0.0	167.0	143.0	301.5	259.0	1928.3
1966	332.5	87.0	101.5	46.0	222.0	0.0	74.0	90.5	185.5	131.0	124.0	246.0	1640.0
1967	173.0	115.0	224.0	100.0	111.2	19.0	105.0	70.0	78.0	179.3	115.0	59.0	1348.5
1968	107.0	138.0	136.0	82.0	31.1	40.0	30.0	0.0	46.0	134.0	170.5	223.9	1138.5
1969	249.9	200.6	218.8	74.3	71.0	116.2	0.0	153.8	56.0	262.0	78.0	321.7	1802.3
1970	193.9	159.0	226.3	143.6	71.6	80.0	31.0	46.3	95.9	152.3	74.9	277.1	1551.9
1971	147.4	190.6	121.7	57.3	54.0	99.6	19.9	145.5	16.8	221.4	138.5	209.6	1422.3
1972	265.0	226.7	187.7	83.4	187.8	23.3	37.1	183.7	138.9	171.3	272.2	208.1	1985.2
1973	176.7	207.7	187.0	140.9	168.3	84.4	95.5	106.4	73.2	244.2	141.4	285.2	1910.9
1974	273.7	191.3	183.2	194.6	81.4	14.0	88.0	125.9	25.0	98.8	120.2	191.4	1587.5
1975	180.8	281.0	220.2	173.0	176.6	156.0	4.8	55.0	264.0	133.6	287.8	128.4	2061.2
1976	241.6	272.8	192.8	64.6	59.0	281.4	19.2	112.6	335.0	116.0	87.0	285.9	2067.9
1977	252.7	413.6	198.4	174.0	154.0	46.4	183.4	48.0	133.6	103.0	301.2	191.4	2199.7
1978	468.2	209.8	285.2	125.8	256.8	35.4	5.2	23.2	146.5	209.2	187.6	383.2	2336.1
1979	377.2	298.4	293.6	203.6	99.4	30.2	85.6	75.4	61.8	110.0	257.8	263.7	2156.7
1980	322.4	309.6	272.4	175.2	61.8	59.2	24.2	36.8	118.2	266.6	87.6	150.6	1884.6
1981	415.2	248.2	377.4	257.4	89.9	206.4	144.0	208.2	121.2	170.8	170.5	223.9	2633.1
1982	249.9	219.5	216.3	95.4	77.4	102.6	102.6	144.0	121.2	209.4	170.5	223.9	1932.7
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991	423.5	308.6	344.6	321.4	50.8	69.4	16.0	8.8	108.8	163.2	198.3	202.6	2216.0
1992	239.8	318.4	444.2	130.4	97.5	269.2	34.0	377.8	225.6	151.2	193.6	251.2	2732.9
1993	422.6	499.8	495.2	260.6	144.2	120.6	99.6	296.2	155.8	213.8	195.9	431.8	3336.1
1994	634.8	563.0	520.8	239.6	108.0	19.6	22.4	49.0	168.3	347.2	198.6	221.0	3092.3
1995	473.2	204.6	386.6	98.6	78.2	55.4	55.2	54.2	107.4	150.8	234.4	135.0	2033.6
1996	923.5	751.9	991.6	463.5	107.1	241.1	67.3	107.4	17.8	56.3	50.3	87.8	3865.6
1997	131.4	86.0	60.0	25.1	49.9	41.6	53.0	136.6	128.5	124.7	174.4	156.9	1168.1
1998	231.7	301.2	175.4	137.4	27.2	47.3	6.1	75.8	183.7	338.9	184.6	240.7	1950.0
1999	294.3	397.7	232.9	107.8	68.1	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	404.2	2039.0
2000	273.7	216.0	278.1	101.1	108.9	49.6	40.5	112.7	89.0	100.2	206.9	160.3	1737.0
2001	252.0	253.5	305.5	121.2	50.5	14.7	90.8	74.0	158.0	179.2	120.9	325.0	1945.3
2002	160.0	296.4	191.0	82.4	105.4	5.4	156.1	116.7	135.4	224.2	152.9	229.7	1855.6
2003	295.3	133.5	327.1	70.4	82.4	176.8	94.1	91.0	151.1	92.1	169.9	195.2	1878.9
2004	286.3	313.4	141.1	87.6	96.8	39.5	140.5	138.4	69.3	176.2	321.0	139.2	1949.3
2005	117.5	185.5	248.7	182.4	22.4	22.4	71.0	81.9	61.2	218.7	200.1	279.6	1691.4
2006	237.8	180.5	84.8	85.9	41.8	117.4	27.0	77.1	101.0	354.7	208.6	301.0	1817.6
2007	192.6	125.1	210.4	69.5	89.9	67.5	72.3	97.0	73.1	175.6	99.0	299.7	1571.7
2008	304.6	349.6	161.9	246.0	88.2	33.1	76.0	55.3	81.8	190.9	100.7	162.7	1850.8
2009	264.7	253.4	176.4	84.3	127.1	76.4	87.7	25.6	97.1	186.7	200.2	266.2	1845.8
Prom.	287.0	260.7	260.2	138.8	96.2	77.4	62.5	97.4	120.6	179.6	173.0	230.6	1984.2
Desv. E.	155.5	133.8	160.7	87.2	52.5	73.1	45.9	75.7	65.3	69.2	68.0	82.0	556.1
Máx.	923.5	751.9	991.6	463.5	256.8	281.4	183.4	377.8	335.0	354.7	321.0	431.8	3865.6
Mín.	80.3	86.0	60.0	25.1	22.4	0.0	0.0	0.0	16.8	56.3	50.3	59.0	1138.5

Fuente: SENAMHI.

CUADRO A.2 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C) – ESTACIÓN SATIPO

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1964	26.4	26.1	25.4	25.8	24.9	24.2	23.3	24.7	25.3	25.5	25.2	25.4	25.2
1965	25.2	25.1	25.3	25.0	25.8	24.6	24.0	25.1	25.0	25.9	25.4	25.2	25.1
1966	26.1	25.6	25.7	24.9	24.0	24.1	23.0	23.5	24.5	24.8	25.6	24.8	24.7
1967	24.8	24.2	23.9	24.3		23.5		23.3	24.4	24.4	25.8	25.4	
1968	24.2	24.5	24.1	24.9	23.7	23.5	23.4	24.0	24.7	25.2			
1969				25.2	25.6	24.7	24.6	25.2	26.6	26.6	27.1	26.6	
1970	26.4	25.6	25.4	24.4	25.2	24.2	23.1	24.6	25.0	25.3	25.6	24.6	25.0
1971	24.7	23.9	25.2	24.7	24.2	23.3	23.1	24.0	24.7	24.8	25.7	24.3	24.4
1972	24.1	24.9	25.0	25.1	25.2	24.4	23.9	24.3	24.6	25.0	25.2	25.8	24.8
1973		24.9	25.1	25.2	25.1	24.2	23.7	24.2	24.4	24.4	25.0	24.7	24.6
1974	25.5	24.0	24.8	24.8	24.5	24.3	23.0		24.8	24.8	25.5	25.2	
1975	24.8	24.5	25.1	24.1	24.6	24.1	23.3	24.2	24.4	25.3	25.0	24.9	24.5
1976	24.8	24.4	25.1	25.1	24.6	23.9	23.4	23.6	24.1	25.6	25.6	25.2	24.6
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991	24.8	24.6	24.8	24.0	24.3	24.1	24.7	21.7	22.7	23.2	23.5	24.7	23.9
1992	25.4		25.3	24.9	25.1	23.5	22.7	21.7	22.8	24.2	23.9	24.1	
1993	24.3	24.8	24.8										
1994													
1995	24.4	24.7	23.9	24.2	22.7	23.2	22.8	25.4	25.5	26.3	26.7	26.9	24.7
1996	25.1	25.7	25.7	25.4	25.2	24.1	23.5	24.7	26.0	26.7	26.6	25.8	25.4
1997	25.4	24.7	25.6	25.9	25.2	24.4	24.6	23.6	25.1	25.6	25.8	25.3	25.1
1998	25.6	25.6	25.7	25.4	24.7	23.7	24.4	25.0	25.1	25.2	24.8	25.0	25.0
1999	24.0	24.2	23.7	23.9	23.6	23.7	23.3	23.9	24.2	23.8	23.4	23.9	23.8
2000	23.9	24.1	24.2	24.3	24.6	24.3	23.0	23.8	24.0	24.2	25.2	24.5	24.2
2001	23.7	23.5	23.8	24.3	24.3	23.4	24.0	24.0	24.6	25.5	25.3	25.3	24.3
2002	25.1	24.4	24.7	25.2	24.6	23.9	23.4	23.9	24.0	25.1	24.9		
2003	25.3	25.2	25.2	24.8	24.6	24.6	23.7	23.7	24.4	25.5	25.5	25.0	24.8
2004	25.3	24.7	25.3	25.4	23.9	23.2	23.4	22.9	23.5	25.0	24.9	24.9	24.4
2005	24.9	24.9	24.8	25.2	25.0	24.5	23.6	24.0	24.2	25.0	25.2	24.9	24.7
2006	24.9	24.7	25.0	25.0	23.9	24.4	23.8	24.3	24.7	25.1	25.2	25.1	24.7
2007	25.4	25.0	25.0	25.1	24.2	24.5	23.9	24.1	24.5	24.8	24.7	24.5	24.6
2008	24.4	24.7	24.9	24.9	24.3	24.0	24.2	24.6	24.6	24.9	25.4	24.5	24.6
2009	24.2	24.2	24.8	24.9	24.7	23.7	23.8	24.6	24.6	25.3	25.2	24.5	24.5
Prom.	24.9	24.7	24.9	24.9	24.6	24.0	23.6	24.0	24.6	25.1	25.3	25.0	24.7
Máx.	26.4	26.1	25.7	25.9	25.8	24.7	24.7	25.4	26.6	26.7	27.1	26.9	25.4
Mín.	23.7	23.5	23.7	23.9	22.7	23.2	22.7	21.7	22.7	23.2	23.4	23.9	23.8

Fuente: SENAMHI.

CUADRO A.3 TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL (°C) – ESTACIÓN SATIPO

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1964	20.4	20.2	19.9	19.7	18.6	16.3	15.4	16.7	17.4	17.8	18.5	17.7	18.2
1965	17.3	19.4	18.6	18.9	19.8	17.8	15.8	15.5	18.3	19.1	18.9	19.8	18.3
1966	19.9	19.7	18.6	17.9	18.4	17.1	15.2	15.5	16.2	17.7	17.6	17.6	17.6
1967	17.4	17.1	17.1	17.1		16.3	15.0	15.3	16.3	17.2	17.6	17.6	
1968	17.8	19.0	17.6	17.4	15.9	15.5	15.7	17.2	17.0	17.5			
1969				14.8	13.9	13.5	12.0	11.8	13.0	13.3	13.2	13.5	
1970	13.8	13.2	13.2	12.9	11.9	10.6	9.5	9.7	10.6				
1971	11.3				11.8		10.5	11.1	11.2	12.2		12.3	
1972	13.5	12.4	13.4	13.1	11.8	10.5			11.0	11.7			
1973													
1974													
1975	17.0	16.4	16.2	14.8	14.2	11.9	12.4	14.7	14.0	14.9	15.2	15.2	14.7
1976	15.1	14.4	15.3	14.9	14.4	14.2	13.1	14.0	14.6	15.2	15.7	15.6	14.7
1977	14.4	13.7	13.9	13.9	13.7	13.4	13.1	12.9	13.7	14.3	14.4	14.5	13.8
1978	14.0	14.7	14.4	14.1	13.1	11.7	14.8	15.9	18.2	20.2	20.5	20.7	16.0
1979	19.9	19.7	20.0	19.0	18.9	17.4	17.1	18.1	18.8	19.8	21.3	21.0	19.3
1980	20.7	20.3	19.0	19.3	18.6	18.4	17.6	17.6	18.6	18.3	20.1	18.9	19.0
1981	20.1	19.4	19.3	19.6	17.9	18.2	15.9	16.9					18.4
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989	15.5	16.2	17.7	17.3	18.1	14.9	13.8	14.8	15.3	16.4	17.6	17.2	16.2
1990	15.8	16.4	16.1	15.9	15.8	15.0	12.8	14.5	15.3	17.8	19.2	18.8	16.1
1991	18.4	18.6	19.0	17.8	17.8	17.4	14.6	13.7	14.8	15.3	15.8	17.6	16.7
1992	18.9	18.3	19.0	18.4	18.4	16.2	15.4	14.7	15.3	16.9	16.7	17.0	17.1
1993	16.2	17.0	16.8	16.3	14.0	12.4	12.5	13.2	14.3	13.2			
1994													
1995	14.3	14.8	14.1	14.5	13.5	13.2	12.7	13.3	13.7	14.5	15.2	14.7	14.0
1996	12.9	16.8	17.3	16.6	15.7	16.9	15.6	17.5	18.1	19.5	19.1	19.8	17.2
1997	19.8	18.8	20.3	19.8	19.1	18.4	17.0	17.8	18.4	20.0	20.8	21.4	19.3
1998	21.5	21.5	21.5	20.8	18.9	17.5	16.7	18.1	18.6	20.2	20.3	20.3	19.7
1999	20.2	20.3	20.4	19.8	18.9		14.7	14.1	18.1	18.1	17.5	19.7	18.3
2000	19.8	20.0	19.9	19.5	19.2	18.5	16.1	16.7	17.6	17.6	19.1	18.9	18.6
2001	19.0	18.8	17.7	15.4	18.9	16.7	17.7	16.3	18.0	19.6	20.1	20.0	18.2
2002	20.1	20.0	20.2	20.2	19.2	17.6	17.4	16.9	18.2	19.6	19.6	20.7	19.1
2003	21.0	20.6	20.5	19.8	18.8	18.4	17.5	18.0	17.8	19.5	20.2	20.9	19.4
2004	20.6	20.6	20.8	20.3	19.2	17.4	18.0	16.4	17.5	19.8	19.7	20.0	19.2
2005	19.9	20.0	20.5	20.7	19.2	17.3	15.8	16.9	17.8	19.4	19.5	20.2	18.9
2006	20.4	20.4	19.8	19.7	17.7	19.0	16.5	17.1	18.3	20.1	20.5	20.7	19.2
2007	21.0	20.9	20.3	20.0	18.6	18.2	17.3	17.3	17.5	18.9	19.5	20.2	19.1
2008	20.5	19.7	19.6	19.3	18.5	17.6	16.7	17.7	17.7	19.6	20.2	20.1	18.9
2009	19.7	19.5	20.4	19.8	19.4	17.8	17.4	18.1	17.2	18.7	19.5	19.8	18.9
Prom.	17.9	18.2	18.2	17.7	16.9	16.0	15.1	15.6	16.2	17.5	18.4	18.5	17.7
Máx.	21.5	21.5	21.5	20.8	19.8	19.0	18.0	18.1	18.8	20.2	21.3	21.4	19.7
Mín.	11.3	12.4	13.2	12.9	11.8	10.5	9.5	9.7	10.6	11.7	13.2	12.3	13.8

Fuente: SENAMHI.

CUADRO A.4 TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (°C) – ESTACIÓN SATIPO

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1964	34.1	33.0	32.1	33.6	33.4	33.0	31.6	33.2	33.6	33.3	32.8	32.2	33.0
1965	32.5	31.2	32.8	33.5	33.1	32.4	32.4	33.7	33.4	33.8	33.8	32.2	32.9
1966	34.1	33.2	33.0	33.3	31.8	32.7	32.3	32.9	33.8	33.9	34.5	31.8	33.1
1967	32.6	31.2	30.7	32.6		31.8	31.0	32.5	33.5	32.7		33.3	
1968	32.4	32.4	32.7	33.9	32.8	32.2	32.8	32.8	33.1	33.3	37.2		
1969				36.8	37.2		35.8	37.6	37.1	36.6	35.3	36.2	
1970	35.2	35.4	33.4	35.3	33.2	34.1	32.6	34.6	34.9	34.8	35.2	33.5	34.4
1971	32.8	31.1	33.5	33.0	33.3	32.4	32.7	33.8	35.0	34.3	35.0	33.9	33.4
1972	33.4	34.8	35.3	34.5	34.9	34.5	34.6	34.3	34.8	35.1	33.0	34.8	34.5
1973	33.8	33.0	33.5	34.3	34.6	33.0	32.3	32.2	34.1	33.5	34.5	31.9	33.4
1974	30.8	31.0	33.0	33.0	33.4	33.0	32.1	32.0	34.3	34.3	33.8	33.7	32.9
1975	33.5	32.8	33.9	34.1	33.4	33.1	33.1	34.1	33.8	34.8	34.2	33.4	33.7
1976	32.7	32.5	34.1	34.2	33.9	33.4	33.9	33.2	33.4	35.0	32.4	33.1	33.5
1977	32.1	32.2	33.2	34.3	32.7	33.0	32.4	33.1	33.3	34.1	34.4	34.0	33.2
1978	32.4	34.5	33.0	33.3	32.8	32.8	32.7	33.0	33.3	34.6	34.5	33.4	33.4
1979	34.2	32.1	32.3	33.5	33.7	32.4	32.1	35.1	34.8	35.3	34.5	33.4	33.6
1980	33.5	32.8	32.0	34.1	34.5	33.7	33.5	34.0	34.3	32.1		32.7	
1981	32.2	31.9	33.9	34.4	33.9	32.6	31.9	32.5					
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989	31.0	33.4	34.8	34.9	35.3	34.3	33.8	34.5	35.4	36.0	35.6	35.2	34.5
1990	33.5	33.6	34.5	34.0	33.0	32.5	32.2	33.4	34.2	34.5	34.9	35.1	33.8
1991	34.4	34.4	34.5	34.6	35.7	35.3	34.1	34.7	35.3	35.5	35.5	36.3	35.0
1992	36.4	35.6	35.8	35.7	36.3	34.8	33.9	33.1	34.5	35.7	35.1	34.9	35.2
1993	35.9	35.9	36.1	36.5	35.6	33.7	33.2	34.6	35.3	35.7			
1994													
1995			34.9	36.0	34.8	35.4	35.2	35.8	35.5	36.1	36.3	36.4	
1996	35.8	36.6	37.5	37.0	37.6	37.2	35.9	36.3	37.6	37.8	37.8	36.0	36.9
1997	35.4	35.0	35.6	37.9	38.0	35.9	34.2	30.6	32.0	31.8	31.1	29.8	33.9
1998	30.8	31.2	31.4	31.2	31.2	30.2	31.7	31.7	31.5	30.5	30.2	29.8	31.0
1999	28.9	29.1	28.8	29.8	29.4	29.8	30.1	31.7	31.5	30.8	31.1	29.7	30.1
2000	28.8	29.0	29.3	29.6	30.6	30.2	30.1	31.5	31.0	31.2	31.7	30.2	30.3
2001	28.8	28.9	29.1	31.1	30.4	29.7	30.8	31.7	31.4	32.3	31.4	31.7	30.6
2002	31.2	29.5	30.0	31.2	30.8	30.7	29.5	31.2	30.5	31.3	30.1	29.5	30.5
2003	30.1	29.9	30.0	30.2	30.2	30.7	29.6	29.6	31.0	31.9	31.4	29.8	30.4
2004	30.9	29.7	30.4	31.1	29.3	29.6	29.3	29.6	30.0	31.1	31.0	30.2	30.2
2005	30.5	30.9	29.9	30.7	31.1	31.3	31.0	31.0	31.2	31.6	32.0	30.5	31.0
2006	30.4	30.3	31.0	31.0	30.8	30.8	31.3	32.2	31.9	31.4	30.4	30.5	31.0
2007	30.4	30.0	30.0	31.3	30.1	31.3	30.6	31.1	31.9	31.7	31.3	30.4	30.8
2008	29.3	30.3	30.8	31.6	30.6	30.2	31.3	31.6	32.1	31.6	32.1	30.2	31.0
2009	29.5	29.3	30.1	30.8	30.8	30.1	30.4	32.2	33.0	33.2	32.1	29.8	30.9
Prom.	32.3	32.2	32.6	33.4	33.1	32.5	32.3	33.0	33.4	33.6	33.4	32.6	32.6
Máx.	36.4	36.6	37.5	37.9	38.0	37.2	35.9	37.6	37.6	37.8	37.8	36.4	36.9
Mín.	28.8	28.9	28.8	29.6	29.3	29.6	29.3	29.6	30.0	30.5	30.1	29.5	30.1

Fuente: SENAMHI.

CUADRO A.5 HUMEDAD RELATIVA MENSUAL (%) – ESTACIÓN SATIPO

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1964	77.0	81.0	83.0	82.0	81.0	79.0	80.0	74.0	75.0	79.0	77.0	80.0	79.0
1965	80.0	81.0	78.0	79.0	77.0	77.0	76.0	70.0	77.0	78.0	76.0	79.0	77.3
1966	78.0	80.0	78.0	80.0	83.0	79.0	78.0	79.0	78.0	79.0	77.0	80.0	79.1
1967	81.0	82.0	84.0	82.0		83.0	83.0	80.0		72.0	77.0	80.0	
1968	81.0	82.0	79.0	78.0	77.0	79.0	78.0	78.0	78.0	77.0			
1969				84.0	81.0	82.0	74.0	74.0	75.0	78.0	75.0	78.0	
1970	79.0	83.0	85.0	83.0	85.0	84.0		77.0		83.0	79.0	83.0	
1971	86.0	89.0	81.0	84.0	81.0	84.0	83.0	79.0	77.0	80.0	79.0	74.0	81.4
1972	78.0	71.0	70.0	69.0	70.0	71.0	72.0	72.0	70.0	68.0	69.0	70.0	70.8
1973		73.0	73.0	71.0	72.0	76.0	76.0	73.0	74.0	74.0	75.0	77.0	74.0
1974	78.0	78.0	79.0	78.0	75.0	76.0	77.0		75.0	73.0	75.0	76.0	
1975	77.0	77.0	78.0	76.0	76.0	75.0	75.0	75.0	75.0	74.0	75.0	76.0	75.8
1976	75.0	76.0	75.0	74.0									
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996	79.0	79.0	79.0	75.0	79.0	79.0	80.0	82.0	81.0	81.0	82.0	83.0	79.9
1997	83.0	85.0	86.0	84.0	85.0	87.0	76.0	78.0	75.0	78.0	79.0	84.0	81.7
1998	82.0	83.0	83.0	82.0	79.0	81.0	78.0	75.0	75.0	79.0	83.0	82.0	80.2
1999	85.0	84.0	87.0	85.0	84.0	83.0	83.0	81.0	82.0	84.0	83.0	84.0	83.8
2000	86.0	87.0	88.0	89.0	87.0	85.0	85.0	84.0	84.0	80.0	80.0	82.0	84.8
2001	84.0	85.0	85.0	81.0	84.0	81.0	79.0	76.0	76.0	77.0	82.0	82.0	81.0
2002	83.0	86.0	85.0	84.0	84.0	81.0	81.0	81.0	83.0	81.0	82.0		
2003	86.9	86.0	86.2	86.3	86.9	85.1	85.0	85.5	82.1	80.9	82.8	85.4	84.9
2004	84.3	84.7	84.3	83.8	84.9	84.9	85.1	87.0	84.5	84.7	85.5	86.4	85.0
2005	86.4	85.2	85.6	85.6	85.1	84.2	84.8	85.6	84.6	83.8	85.7	85.3	85.2
2006	84.7	85.3	84.1	83.6	84.0	84.8	84.1	83.6	82.0	83.6	84.0	84.9	84.1
2007	84.0	84.6	83.3	84.3	83.2	82.3	83.4	83.0	82.5	82.3	83.8	83.8	83.4
2008	85.2	83.3	82.9	82.4	83.9	84.6	81.8	81.2	81.7	83.7	82.3	84.3	83.1
2009	84.9	85.8	84.9	83.9	84.1	84.1	83.1	82.2	81.1	81.4	82.7	84.7	83.6
Prom.	81.9	82.2	81.8	81.1	81.3	81.2	80.1	79.0	78.7	79.1	79.7	81.0	80.9
Máx.	86.9	89.0	88.0	89.0	87.0	87.0	85.1	87.0	84.6	84.7	85.7	86.4	85.2
Mín.	75.0	71.0	70.0	69.0	70.0	71.0	72.0	70.0	70.0	68.0	69.0	70.0	70.8

Fuente: SENAMHI.

CUADRO A.6 EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL (%) – ESTACIÓN SATIPO

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964	42.0	36.4	36.1	39.3	43.1	42.3	44.8	51.9	56.1	43.6	36.4	45.0	517.0
1965	37.5	28.1	34.7	38.2	42.8	39.6	38.3	56.1	45.7	35.6	31.3	27.3	455.2
1966	35.7	27.9	38.7	31.1	29.4	39.7	40.4	41.2	39.5	36.5	35.1	29.3	424.5
1967	40.0	20.1	28.3	35.5		32.4	34.7	41.3	48.5	39.4	45.0	33.6	
1968	34.6	29.5	35.7	40.0	39.2	34.9	34.9	34.5	33.1	31.8		41.7	
1969		32.3		19.8	40.8	56.2	62.1	22.9	23.2	28.3	25.0	21.4	
1970	17.1	32.3	11.0	11.5	10.9	11.9	12.2	12.6	32.2	40.9	35.5	22.5	250.6
1971	42.0	18.5	16.5	36.6	37.4	40.4	38.6	22.2	27.6	34.8	44.7	31.3	390.6
1972	28.5	42.6	33.0	83.4	30.3	30.9	36.6	35.4	48.7	39.6	50.3	56.5	515.8
1973	56.6	52.7	54.6	63.4	62.1	46.0	40.6	37.3	39.4	37.5	40.8	36.5	567.5
1974	29.1	34.4	37.8	35.6	42.9	44.5	49.4	38.5	44.6	45.9	50.5	43.3	496.5
1975	38.9	27.2	40.4	42.6	39.8	40.1	43.5	47.4	40.6	55.8	48.9	41.8	507.0
1976	40.5	43.5	53.8	59.6	47.6	41.1	47.8	45.1	46.4	54.6	50.2	30.2	560.4
1977			23.3		39.0	37.4						42.3	
1978						33.4	39.1	54.8	38.7	35.3	26.8	37.4	
1979	29.2	21.2	22.8	31.6	47.5	33.8	40.2	48.9	65.6	64.6	57.2	49.5	512.1
1980	46.1	34.7	40.4	48.1	48.1	42.1	42.7	39.8	59.4	38.5	48.6	42.5	531.0
1981	31.9	35.1	42.2	46.5	46.8	35.8	41.7	43.3	43.9			42.3	
1982					41.4	42.2	51.5	49.4	57.8	56.5		42.3	
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989	34.8	54.4	56.7	56.1	53.4	49.1	52.0	48.8	50.7	47.8	40.7	47.0	591.5
1990	35.8	43.3	49.2	44.0	39.0	34.3	41.6	43.9	44.4	48.5	39.6	44.7	508.3
1991	36.9	35.9	34.9	34.8	42.2	40.6	33.6	46.1	49.5	41.8	44.1	49.2	489.6
1992	48.0	35.9	42.1	41.3	46.0	37.2	36.3	33.4	40.4	40.1	40.0	42.7	483.4
1993	42.0	39.5	41.8	42.4	42.6	32.7	39.8	46.2	52.7	37.4			
1994													
1995	54.0	51.1	57.1	56.8	51.7	54.3	65.1	68.9	56.7	72.1	71.3	73.0	732.1
1996	91.0	54.6	63.6	78.5	65.0	71.4	71.1	59.2	79.2	68.7	58.3	47.9	808.5
1997	51.5	50.9	58.3	55.3	59.3	60.7	73.5	52.6	61.2	60.9	57.4	45.0	686.6
1998	46.8	40.8	46.4	43.3	55.1	54.2	71.0	72.8	68.8	48.0	42.4	44.8	634.4
1999	44.5	35.3	36.2	47.6	47.0	50.7	44.8	63.3	59.1	50.8	53.5	45.3	578.1
Prom.	41.4	36.9	39.8	44.7	44.1	41.7	45.3	44.9	48.3	45.8	44.7	41.3	535.3
Máx.	91.0	54.6	63.6	83.4	65.0	71.4	73.5	72.8	79.2	72.1	71.3	73.0	808.5
Mín.	17.1	18.5	11.0	11.5	10.9	11.9	12.2	12.6	23.2	28.3	25.0	21.4	250.6

Fuente: SENAMHI.

CUADRO A.7 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM) – ESTACIÓN PUERTO OCOPA

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1981	276.4	184.0	122.6		0.0	86.2	0.0	80.2			172.3	140.7	
1982	314.2	228.5	141.7		31.0	77.9	38.7	40.8	93.2	79.2			
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996			151.0	148.5	13.4	0.0	6.2	12.2	49.6	103.5	15.9	222.2	
1997													
1998													
1999	210.5	281.9	193.9	35.1	52.8	8.0	48.1	5.9	135.9	71.4	156.3	125.2	1325.0
2000	255.8	161.9	108.4	81.8	37.1	53.8	38.4	31.4	49.5	135.7	54.8	66.9	1075.5
2001	200.4	123.7	136.2	81.8	27.1	7.5	17.1	32.9	35.4	59.0	90.9	147.7	959.7
2002	104.5	243.9	177.4	23.3	63.3	25.1	52.0	31.2	72.9		78.2	175.0	
2003	161.1	87.7	186.2	40.7	42.6	6.7	8.5	68.6	72.2	95.7	120.2	142.7	1032.9
2004	149.7	163.9	98.5	31.0	31.6	60.8	68.1	60.1	26.4	171.0	94.6	114.8	1070.5
2005	142.4	71.5	100.3	43.0	5.0	3.0	30.3	18.6	59.6	86.5	72.9	266.2	899.3
2006	187.9	184.8	94.1	25.9	18.0	6.3	4.4	48.0	75.7	46.0	102.3	199.0	992.4
2007	120.0	86.0	166.9	49.9	37.8	10.8	19.7	30.4	43.7	65.2	122.5	180.1	933.0
2008	282.0	269.6	78.0	78.4	9.1	14.9	11.1	15.5	21.2	84.5	42.6	226.2	1133.1
2009	162.8	194.6	143.9	75.5	85.5	15.0	52.1	8.7	101.1	40.2	113.8	317.8	1311.0
Prom.	197.5	175.5	135.7	59.6	32.5	26.9	28.2	34.6	64.3	86.5	95.2	178.8	1073.2
Máx.	314.2	281.9	193.9	148.5	85.5	86.2	68.1	80.2	135.9	171.0	172.3	317.8	1325.0
Mín.	104.5	71.5	78.0	23.3	0.0	0.0	0.0	5.9	21.2	40.2	15.9	66.9	899.3

FUENTE: SENAMHI



OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : SATIPO / 000571 / DRE-11

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LAT. : 11° 13' "S" DPTO. : JUNIN
LONG. : 74° 37' "W" PROV. : SATIPO
ALT. : 588 msnm DIST. : SATIPO

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1964	19.8	32.0	24.0	23.0	15.0	5.1	31.0	19.0	28.0	29.0	23.5	45.0
1965	45.0	119.0	80.0	28.0	23.0	40.0	18.0	0.0	50.0	43.0	50.0	48.0
1966	72.0	25.0	45.0	26.0	85.0	0.0	70.0	41.0	60.0	32.0	32.0	60.0
1967	33.0	S/D	68.0	57.0	S/D	12.0	28.0	19.0	45.0	45.0	32.0	24.0
1968	48.0	51.0	33.0	58.0	26.1	31.0	17.0	0.0	26.0	40.0	S/D	S/D
1969	S/D	S/D	S/D	36.0	25.0	45.0	0.0	104.0	16.0	92.0	56.0	S/D
1970	40.0	S/D	56.0	64.0	19.0	38.0	11.0	20.2	40.2	30.8	26.4	47.0
1971	25.9	27.1	28.6	19.4	16.6	19.9	5.3	44.5	8.2	74.4	37.0	45.6
1972	58.7	57.2	39.0	26.0	79.5	17.1	9.7	55.8	28.1	36.6	41.0	25.2
1973	42.2	45.0	62.7	66.6	104.6	19.0	18.6	27.5	20.8	63.0	35.5	55.6

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
TOTAL O PARCIAL**

MS.
Ing. Mardel Valverde B.
Directora de la Oficina de Servicio al Cliente
SENAMHI

S/D= Sin Dato
T = Traza

INFORMACION PREPARADA PARA : INVESTIGACION Y CONTROL DE CALIDAD S.A. SUCURSAL DEL PERU
LIMA , 11 DE ENERO DEL 2016



OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : SATIPO / 000571 / DRE-11

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LAT. : 11° 13' "S" DPTO. : JUNIN
LONG. : 74° 37' "W" PROV. : SATIPO
ALT. : 588 msnm DIST. : SATIPO

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1974	35.2	22.8	39.4	28.8	28.2	7.2	41.0	34.2	7.2	23.6	27.2	24.2
1975	35.6	49.0	33.6	32.8	31.8	40.8	4.8	45.2	77.4	60.0	59.0	27.8
1976	40.2	33.4	70.2	26.2	26.8	82.2	10.8	21.2	75.2	42.8	22.8	35.8
1977	28.2	56.8	51.4	48.2	62.8	16.2	35.8	15.4	31.8	27.8	45.8	35.4
1978	55.2	88.6	54.2	31.2	50.0	13.8	3.4	11.4	29.4	36.2	62.4	74.6
1979	49.6	71.4	42.2	48.4	35.4	28.4	26.2	37.4	29.2	31.4	56.4	32.4
1980	70.4	65.8	50.0	52.4	16.2	41.2	10.2	15.8	58.2	35.4	12.8	29.0
1981	94.4	39.4	98.8	101.2	21.4	42.0	82.8	33.6	S/D	S/D	S/D	S/D

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
TOTAL O PARCIAL

S/D= Sin Dato
T = Traza

Ing Manuel Valverde B.
Director de la Oficina de Servicio al Cliente
SENAMHI

INFORMACION PREPARADA PARA : INVESTIGACION Y CONTROL DE CALIDAD S.A. SUCURSAL DEL PERU
LIMA , 11 DE ENERO DEL 2016



OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : SATIPO / 000571 / DRE-11

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LAT. : 11° 13' "S" DPTO. : JUNIN
LONG. : 74° 37' "W" PROV. : SATIPO
ALT. : 588 msnm DIST. : SATIPO

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1989	144.0	65.4	57.6	42.8	41.8	21.4	15.4	32.2	75.4	88.6	104.6	48.8
1990	106.8	65.4	38.6	21.4	92.0	64.4	26.4	87.8	54.8	40.6	38.4	35.8
1991	49.0	55.6	37.6	62.2	15.2	25.8	16.0	8.8	12.2	48.8	21.6	24.8
1992	23.0	33.8	50.4	25.8	25.2	31.0	36.6	55.0	31.4	28.0	42.4	36.6
1993	42.8	64.8	54.0	45.0	51.0	42.4	21.6	47.4	35.2	28.6	27.9	53.4
1994	59.0	74.0	74.6	41.2	38.8	9.2	8.2	22.0	26.0	72.6	42.6	36.6
1995	74.4	54.4	58.0	43.0	22.6	30.0	18.6	21.4	25.2	25.4	34.8	25.8
1996	149.0	142.4	99.4	64.6	36.1	60.1	48.8	50.2	5.4	24.4	20.8	15.7
1997	26.8	11.1	17.2	7.1	12.2	10.9	30.5	38.9	39.0	45.5	36.0	51.8
1998	37.5	48.4	49.8	56.0	8.4	20.1	5.0	20.6	53.0	60.3	36.0	34.8
1999	36.1	81.2	38.2	24.6	10.5	11.8	17.0	38.5	45.3	36.2	37.5	98.5
2000	38.7	34.8	45.7	36.5	40.0	10.7	11.1	25.3	30.9	20.5	35.6	28.7
2001	20.7	59.0	53.8	51.9	14.2	8.4	53.4	30.9	41.6	89.7	57.0	60.6
2002	48.7	48.1	32.1	20.8	28.6	2.1	63.8	41.3	40.4	54.6	41.5	36.9
2003	71.9	23.4	62.3	19.0	43.7	71.6	34.0	18.5	57.1	27.8	38.0	28.2

SD= Sin Dato
T = Trazo

INFORMACION PREPARADA PARA : INVESTIGACION Y CONTROL DE CALIDAD S.A. SUCURSAL DEL PERU
LIMA, 11 DE ENERO DEL 2016

Ing. Manuel Valverde B.
Director de la Oficina de Servicio al Cliente
SENAMHI

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
TOTAL O PARCIAL

N° PRES/SOLIC: 201601000026 / 201601000009 0073



OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : SATIPO / 000571 / DRE-11

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LAT. : 11° 13' "S" DPTO. : JUNIN
LONG. : 74° 37' "W" PROV. : SATIPO
ALT. : 588 msnm DIST. : SATIPO

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2004	81.5	55.5	25.6	63.7	45.5	15.5	49.5	40.0	24.4	27.7	55.5	43.9
2005	19.4	63.2	41.0	53.7	5.8	9.0	28.8	34.4	13.2	59.6	82.8	46.5
2006	61.2	40.4	22.6	21.7	17.5	52.3	10.5	32.6	22.6	68.7	27.2	55.9
2007	59.7	22.8	47.0	17.6	21.8	34.4	36.3	37.7	32.0	52.2	28.0	83.4
2008	37.5	69.8	38.7	61.5	24.1	12.4	26.3	18.5	40.0	36.0	34.4	53.7
2009	35.3	63.7	34.4	40.4	47.4	25.5	35.0	7.0	61.5	100.9	36.1	57.2
2010	73.2	67.3	43.1	35.7	11.9	57.6	26.2	21.0	12.7	29.2	33.9	54.5
2011	54.9	36.9	16.4	67.3	36.4	24.7	36.1	33.9	36.3	82.8	55.4	36.3
2012	47.8	63.4	87.9	43.8	15.9	29.0	8.6	13.7	16.2	42.5	29.3	47.4
2013	31.6	86.8	43.1	23.6	13.4	38.6	7.4	71.5	30.5	34.1	27.8	37.5
2014	34.6	34.4	28.5	44.2	29.6	32.8	19.3	22.1	44.3	34.6	62.3	47.1

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
TOTAL O PARCIAL

S/D= Sin Dato
T = Trazo

Ing. Manuel Valverde B.
Director de la Oficina de Servicio al Cliente
SENAMHI

INFORMACION PREPARADA PARA : INVESTIGACION Y CONTROL DE CALIDAD S.A. SUCURSAL DEL PERU
LIMA , 11 DE ENERO DEL 2016

ANEXO B: ANÁLISIS DE SALTOS Y TENDENCIAS

**CUADRO B.1: DATOS PARA EL ANÁLISIS DE CURVA DE DOBLE MASA.
PERÍODO 1964 – 1980**

Año	Estación Satipo		Estación Puerto Ocopa		Todas las estaciones	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Promedio	Acumulado
1964	1234.8	1234.8	1716.4	1716.4	1475.6	1475.6
1965	1928.3	3163.1	1062.2	2778.6	1495.3	2970.9
1966	1640.0	4803.1	1306.3	4084.9	1473.2	4444.0
1967	1348.5	6151.6	1120.8	5205.7	1234.7	5678.7
1968	1138.5	7290.1	1072.2	6277.9	1105.4	6784.0
1969	1802.3	9092.4	911.3	7189.2	1356.8	8140.8
1970	1551.9	10644.3	1185.8	8375.0	1368.9	9509.7
1971	1422.3	12066.6	1038.1	9413.1	1230.2	10739.9
1972	1985.2	14051.8	1039.4	10452.5	1512.3	12252.2
1973	1910.9	15962.7	1285.1	11737.6	1598.0	13850.2
1974	1587.5	17550.2	1177.4	12915.0	1382.5	15232.6
1975	2061.2	19611.4	966.4	13881.4	1513.8	16746.4
1976	2067.9	21679.3	962.5	14843.9	1515.2	18261.6
1977	2199.7	23879.0	1145.0	15988.9	1672.4	19934.0
1978	2336.1	26215.1	1234.0	17222.9	1785.1	21719.0
1979	2156.7	28371.8	1104.4	18327.3	1630.6	23349.6
1980	1884.6	30256.4	974.7	19302.0	1429.7	24779.2

Fuente: Estudio de Factibilidad Técnica-Económica del Proyecto de Irrigación San Martín de Pangoa a Nivel constructivo- Agua y Agro Consultores Asociados S.A.1987

CUADRO B.2: ANÁLISIS DE SALTOS - ESTACIÓN SATIPO PERÍODO 1964-1972

ANÁLISIS DE SALTOS DE LA ESTACION SATIPO

Se realizó la prueba de consistencia en la media y en la desviación estandar de los registros de precipitación total mensual correspondientes a la Estación Ananea en el periodo: 1964 - 1982

Para realizar este análisis se separaron 2 muestras, una de 12 años (1964-1975) y otra de 07 años entre 1976 y 1982 y se obtuvieron sus parámetros estadísticos.

Serie	Periodo		Difer.	n	X	S
1	1964	1975	12	144	136.19	81.05
2	1976	1982	7	84	181.08	105.55

A) CONSISTENCIA EN LA MEDIA

A.1) Determinación de T_t ("T" tabular)

Se calcula en primer lugar, los grados de libertad (G.L.) con la siguiente relación:

$$G.L. = n_1 + n_2 - 2$$

y se obtiene: G.L.= 226

Con este valor de G.L., para un 5% de nivel de significancia y de la tabla de la prueba de "T" de student; se obtiene T_t

$$T_t = 1.97$$

A.2) Cálculo de T_c ("T" calculado)

Luego, usando la siguiente fórmula: $T_c = \frac{X_1 - X_2}{s_d}$ $S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}$ $S_p = \left\{ \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right\}^{1/2}$

$$S_p = 90.82$$

$$S_d = 12.47$$

$$T_c = 3.60$$

Esto es : $T_c > T_t$

Lo cual significa que: Las muestras no son estadísticamente iguales y necesitan corrección

B) CONSISTENCIA EN LA DESVIACION ESTÁNDAR

B.1) Determinación de F_t ("F" tabular)

Se analizó la desviación estándar para 5% de nivel de significancia

Con los valores de G.L.N. y G.L.D. obtenidos de las siguientes relaciones:

$$G.L.N. = n_1 - 1$$

$$G.L.D. = n_2 - 1$$

Obtenemos:

$$G.L.N. = 143$$

$$G.L.D. = 83$$

y de la tabla de Fisher; se obtiene F_t

$$F_t = 1.39$$

B.2) Cálculo de F_c ("F" calculado)

Usando la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

se obtiene:

$$F_c = 1.70$$

Esto es:

$$F_c > F_t$$

Lo cual significa que: Las muestras no son estadísticamente iguales y necesitan corrección

B.3) Corrección de la Información Histórica

B.3.2) Corrección de la Información Histórica del Segundo Período (N2)

La Ecuación para la corrección de la información del Segundo Período (N2), es la siguiente ecuación:

$$X'_i = \frac{X_i - \bar{X}_2}{S_2(x)} * S_1(x) + \bar{X}_1$$

$$X'_i = (X_i - 181.08) * 0.76789535 + 136.19$$

CONCLUSION: LA INFORMACION NECESITA CORRECCION

**CUADRO B.3: PRECIPITACIÓN MENSUAL LIBRE DE SALTOS
ESTACIÓN SATIPO - PERÍODO 1964-1982**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	80.3	104.7	173.9	90.5	56.0	14.1	74.5	37.5	119.0	189.0	153.3	142.0	1234.8
1965	241.0	296.6	295.5	77.5	82.7	46.5	18.0	0.0	167.0	143.0	301.5	259.0	1928.3
1966	332.5	87.0	101.5	46.0	222.0	0.0	74.0	90.5	185.5	131.0	124.0	246.0	1640.0
1967	173.0	115.0	224.0	100.0	111.2	19.0	105.0	70.0	78.0	179.3	115.0	59.0	1348.5
1968	107.0	138.0	136.0	82.0	31.1	40.0	30.0	0.0	46.0	134.0	170.5	223.9	1138.5
1969	249.9	200.6	218.8	74.3	71.0	116.2	0.0	153.8	56.0	262.0	78.0	321.7	1802.3
1970	193.9	159.0	226.3	143.6	71.6	80.0	31.0	46.3	95.9	152.3	74.9	277.1	1551.9
1971	147.4	190.6	121.7	57.3	54.0	99.6	19.9	145.5	16.8	221.4	138.5	209.6	1422.3
1972	265.0	226.7	187.7	83.4	187.8	23.3	37.1	183.7	138.9	171.3	272.2	208.1	1985.2
1973	176.7	207.7	187.0	140.9	168.3	84.4	95.5	106.4	73.2	244.2	141.4	285.2	1910.9
1974	273.7	191.3	183.2	194.6	81.4	14.0	88.0	125.9	25.0	98.8	120.2	191.4	1587.5
1975	180.8	281.0	220.2	173.0	176.6	156.0	4.8	55.0	264.0	133.6	287.8	128.4	2061.2
1976	182.7	206.6	145.2	46.7	42.4	213.2	11.9	83.6	254.4	86.2	63.9	216.7	1553.6
1977	191.2	314.7	149.5	130.8	115.4	32.8	138.0	34.0	99.7	76.2	228.4	144.1	1654.8
1978	356.7	158.2	216.1	93.7	194.3	24.3	1.1	15.0	109.6	157.8	141.2	291.4	1759.5
1979	286.8	226.3	222.6	153.5	73.5	20.3	62.9	55.0	44.6	81.6	195.1	199.6	1621.8
1980	244.7	234.9	206.3	131.7	44.6	42.6	15.7	25.4	87.9	201.9	64.4	112.8	1412.8
1981	316.0	187.7	286.9	194.8	66.2	155.6	107.7	157.0	90.2	128.3	128.1	169.1	1987.6
1982	189.0	165.7	163.2	70.4	56.6	75.9	75.9	107.7	90.2	157.9	128.1	169.1	1449.8
PROMEDIO	220.4	194.3	192.9	109.7	100.4	66.2	52.2	78.5	107.5	155.3	154.0	202.8	1634.3

Datos corregido por Saltos en la media y desviación estándar

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO B.4: ANÁLISIS DE TENDENCIAS - ESTACIÓN SATIPO PERÍODO 1964-1982

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PRECIPITACION MENSUAL DE LA ESTACION SATIPO - PERIODO (1964 - 1982)			
Comprobación de la significación de la tendencia en la media, según la prueba de Student:			
Promedio de la cantidad de datos:	114.50	Promedio de la serie completa:	136.19
Desv estándar de la cantidad de datos:	65.96	Desv estándar de la serie:	80.87
Coefficiente de correlacion (R):	0.05		
1.- Cálculo de Tc según la siguiente ecuación:			
Donde:		$T_c = \frac{R(n-2)^{1/2}}{(1-R^2)^{1/2}}$	
R=	0.05		
n=	228		
	Tc= 0.77		
2.- Cálculo de Tt de Tablas			
G.L. =	226		
α =	0.05		
	Tt= 1.97		
3.- Criterios de decisión			
Como :	Tc<Tt		
Significa que:	El coeficiente de correlacion NO ES SIGNIFICATIVO ó La tendencia en la media NO ES SIGNIFICATIVA al 95% de probabilidades, NO SIENDO NECESARIA SU CORRECCION		
4.- Cálculo de la Ecuacion que representa la Tendencia en la Media:			
$B_m = R \frac{S_y}{S_t}$	Bm= 0.06		
$A_m = \bar{Y} - B_m * t$	Am= 129.04		
Tm= 129.042 + 0.062 t			
5.- Conclusión			
La tendencia en la media NO ES SIGNIFICATIVA al 95% de probabilidades, NO SIENDO NECESARIA SU CORRECCION			

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO B.5: DATOS PARA EL ANÁLISIS DE CURVA DE DOBLE MASA PERÍODO 1999 – 2009

Año	Estación Satipo		Estación Puerto Ocopa		Todas las estaciones	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Promedio	Acumulado
1999	2039.0	2039.0	1325.0	1325.0	1682.0	1682.0
2000	1737.0	3776.0	1075.5	2400.5	1406.3	3088.3
2001	1945.3	5721.3	959.7	3360.2	1452.5	4540.8
2002	1855.6	7576.9	1133.3	4493.5	1494.5	6035.2
2003	1878.9	9455.8	1032.9	5526.4	1455.9	7491.1
2004	1949.3	11405.1	1070.5	6596.9	1509.9	9001.0
2005	1691.4	13096.5	899.3	7496.2	1295.4	10296.4
2006	1817.6	14914.1	992.4	8488.6	1405.0	11701.4
2007	1571.7	16485.8	933.0	9421.6	1252.4	12953.7
2008	1850.8	18336.6	1133.1	10554.7	1492.0	14445.7
2009	1845.8	20182.4	1311.0	11865.7	1578.4	16024.1

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO B.6: ANÁLISIS DE SALTOS - ESTACIÓN SATIPO PERÍODO 1999-2009.

ANÁLISIS DE SALTOS DE LA ESTACION SATIPO

Se realizó la prueba de consistencia en la media y en la desviación estandar de los registros de precipitación total mensual correspondientes a la Estación Ananea en el periodo: 1999 - 2009

Para realizar este análisis se separaron 2 muestras, una de 8 años (1999-2006) y otra de 03 años entre 2007 y 2009 y se obtuvieron sus parámetros estadísticos.

Serie	Periodo		Difer.	n	X	S
1	1999	2006	8	96	155.36	94.08
2	2007	2009	3	36	146.34	84.72

A) CONSISTENCIA EN LA MEDIA

A.1) Determinación de T_t ("T" tabular)

Se calcula en primer lugar, los grados de libertad (G.L.) con la siguiente relación:

$$G.L. = n_1 + n_2 - 2$$

y se obtiene: $G.L. = 130$

Con este valor de G.L., para un 5% de nivel de significancia y de la tabla de la prueba de "T" de student; se obtiene T_t

$$T_t = 1.98$$

A.2) Cálculo de T_c ("T" calculado)

Luego, usando la siguiente fórmula:

$$T_c = \frac{X_1 - X_2}{s_d} \quad S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad S_p = \left\{ \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right\}^{1/2}$$

$$S_p = 91.66$$

$$S_d = 17.91$$

$$T_c = 0.50$$

Esto es : $T_c < T_t$

Lo cual significa que: Las muestras son estadísticamente iguales y no necesitan corrección

B) CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

B.1) Determinación de F_t ("F" tabular)

Se analizó la desviación estandar para 5% de nivel de significancia

Con los valores de G.L.N. y G.L.D. obtenidos de las siguientes relaciones:

$$G.L.N. = n_1 - 1$$

$$G.L.D. = n_2 - 1$$

Obtenemos:

$$G.L.N. = 95$$

$$G.L.D. = 35$$

y de la tabla de Fisher; se obtiene F_t

$$F_t = 1.64$$

B.2) Cálculo de F_c ("F" calculado)

Usando la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

$$F_c = 0.81$$

Esto es : $F_c < F_t$

Lo cual significa que: Las muestras son estadísticamente iguales y no necesitan corrección

CONCLUSION: LA INFORMACION NO NECESITA CORRECCION

CUADRO B.7: ESTACIÓN SATIPO - PRECIPITACIÓN MENSUAL LIBRE DE SALTOS PERÍODO 1999-2009

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PRECIPITACION MENSUAL ESTACION SATIPO - PERIODO (1999 - 2009)

Comprobación de la significación de la tendencia en la media, según la prueba de Student:

Promedio de la cantidad de datos:	66.50	Promedio de la serie completa:	152.90
Desv estándar de la cantidad de datos:	38.25	Desv estándar de la serie:	91.40
Coefficiente de correlacion (R):	-0.06		

1.- Cálculo de T_c según la siguiente ecuación:

Donde:

R= -0.06

n= 132

$$T_c = \frac{R(n-2)^{1/2}}{(1-R^2)^{1/2}}$$

$T_c = -0.67$

2.- Cálculo de T_t de Tablas

G.L. = 130

$\alpha = 0.05$

$T_t = 1.98$

3.- Criterios de decisión

Como : $T_c < T_t$

Significa que:

El coeficiente de correlacion NO ES SIGNIFICATIVO

ó La tendencia en la media NO ES SIGNIFICATIVA al 95% de probabilidades, NO SIENDO NECESARIA SU CORRECCION

4.- Cálculo de la Ecuacion que representa la Tendencia en la Media:

$$B_m = R \frac{S_y}{S_t}$$

$B_m = -0.14$

$$A_m = \bar{Y} - B_m * t$$

$A_m = 162.25$

$T_m = 162.248 + -0.141 t$

5.- Conclusión

La tendencia en la media NO ES SIGNIFICATIVA al 95% de probabilidades, NO SIENDO NECESARIA SU CORRECCION

CUADRO B.8: ESTACIÓN SATIPO - PRECIPITACIÓN MENSUAL LIBRE DE SALTOS PERÍODO 1964-2009

Año	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964	80.3	104.7	173.9	90.5	56.0	14.1	74.5	37.5	119.0	189.0	153.3	142.0	1234.8
1965	241.0	296.6	295.5	77.5	82.7	46.5	18.0	0.0	167.0	143.0	301.5	259.0	1928.3
1966	332.5	87.0	101.5	46.0	222.0	0.0	74.0	90.5	185.5	131.0	124.0	246.0	1640.0
1967	173.0	115.0	224.0	100.0	111.2	19.0	105.0	70.0	78.0	179.3	115.0	59.0	1348.5
1968	107.0	138.0	136.0	82.0	31.1	40.0	30.0	0.0	46.0	134.0	170.5	223.9	1138.5
1969	249.9	200.6	218.8	74.3	71.0	116.2	0.0	153.8	56.0	262.0	78.0	321.7	1802.3
1970	193.9	159.0	226.3	143.6	71.6	80.0	31.0	46.3	95.9	152.3	74.9	277.1	1551.9
1971	147.4	190.6	121.7	57.3	54.0	99.6	19.9	145.5	16.8	221.4	138.5	209.6	1422.3
1972	265.0	226.7	187.7	83.4	187.8	23.3	37.1	183.7	138.9	171.3	272.2	208.1	1985.2
1973	176.7	207.7	187.0	140.9	168.3	84.4	95.5	106.4	73.2	244.2	141.4	285.2	1910.9
1974	273.7	191.3	183.2	194.6	81.4	14.0	88.0	125.9	25.0	98.8	120.2	191.4	1587.5
1975	180.8	281.0	220.2	173.0	176.6	156.0	4.8	55.0	264.0	133.6	287.8	128.4	2061.2
1976	182.7	206.6	145.2	46.7	42.4	213.2	11.9	83.6	254.4	86.2	63.9	216.7	1553.6
1977	191.2	314.7	149.5	130.8	115.4	32.8	138.0	34.0	99.7	76.2	228.4	144.1	1654.8
1978	356.7	158.2	216.1	93.7	194.3	24.3	1.1	15.0	109.6	157.8	141.2	291.4	1759.5
1979	286.8	226.3	222.6	153.5	73.5	20.3	62.9	55.0	44.6	81.6	195.1	199.6	1621.8
1980	244.7	234.9	206.3	131.7	44.6	42.6	15.7	25.4	87.9	201.9	64.4	112.8	1412.8
1981	316.0	187.7	286.9	194.8	66.2	155.6	107.7	157.0	90.2	128.3	128.1	169.1	1987.6
1982	189.0	165.7	163.2	70.4	56.6	75.9	75.9	107.7	90.2	157.9	128.1	169.1	1449.8
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991	423.5	308.6	344.6	321.4	50.8	69.4	16.0	8.8	108.8	163.2	198.3	202.6	2216.0
1992	239.8	318.4	444.2	130.4	97.5	269.2	34.0	377.8	225.6	151.2	193.6	251.2	2732.9
1993	422.6	499.8	495.2	260.6	144.2	120.6	99.6	296.2	155.8	213.8	195.9	431.8	3336.1
1994	634.8	563.0	520.8	239.6	108.0	19.6	22.4	49.0	168.3	347.2	198.6	221.0	3092.3
1995	473.2	204.6	386.6	98.6	78.2	55.4	55.2	54.2	107.4	150.8	234.4	135.0	2033.6
1996	923.5	751.9	991.6	463.5	107.1	241.1	67.3	107.4	17.8	56.3	50.3	87.8	3865.6
1997	131.4	86.0	60.0	25.1	49.9	41.6	53.0	136.6	128.5	124.7	174.4	156.9	1168.1
1998	231.7	301.2	175.4	137.4	27.2	47.3	6.1	75.8	183.7	338.9	184.6	240.7	1950.0
1999	294.3	397.7	232.9	107.8	68.1	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	404.2	2039.0
2000	273.7	216.0	278.1	101.1	108.9	49.6	40.5	112.7	89.0	100.2	206.9	160.3	1737.0
2001	252.0	253.5	305.5	121.2	50.5	14.7	90.8	74.0	158.0	179.2	120.9	325.0	1945.3
2002	160.0	296.4	191.0	82.4	105.4	5.4	156.1	116.7	135.4	224.2	152.9	229.7	1855.6
2003	295.3	133.5	327.1	70.4	82.4	176.8	94.1	91.0	151.1	92.1	169.9	195.2	1878.9
2004	286.3	313.4	141.1	87.6	96.8	39.5	140.5	138.4	69.3	176.2	321.0	139.2	1949.3
2005	117.5	185.5	248.7	182.4	22.4	22.4	71.0	81.9	61.2	218.7	200.1	279.6	1691.4
2006	237.8	180.5	84.8	85.9	41.8	117.4	27.0	77.1	101.0	354.7	208.6	301.0	1817.6
2007	192.6	125.1	210.4	69.5	89.9	67.5	72.3	97.0	73.1	175.6	99.0	299.7	1571.7
2008	304.6	349.6	161.9	246.0	88.2	33.1	76.0	55.3	81.8	190.9	100.7	162.7	1850.8
2009	264.7	253.4	176.4	84.3	127.1	76.4	87.7	25.6	97.1	186.7	200.2	266.2	1845.8
Prom.	272.3	248.2	248.5	131.6	90.8	72.3	58.5	93.0	113.8	171.8	164.7	219.6	1885.0
Desv. E.	152.5	133.3	161.6	85.4	48.6	67.1	41.5	74.7	60.0	70.5	66.2	80.9	557.9
Máx.	923.5	751.9	991.6	463.5	222.0	269.2	156.1	377.8	264.0	354.7	321.0	431.8	3865.6
Mín.	80.3	86.0	60.0	25.1	22.4	0.0	0.0	0.0	16.8	56.3	50.3	59.0	1138.5

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C: MÁXIMAS AVENIDAS

CUADRO C.1: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	82,28 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	2 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA											
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3	
9,0	0	15	12,7	0	0	0												
15,4	6,4	86	70,8	27,7	27,7	16,1	0,0	5,3	10,8	16,1	12,9	9,7	6,5	3,2	0,0			
21,9	12,9	99	81,5	35,7	8,0	4,7		0,0	1,5	3,1	4,7	3,7	2,8	1,9	0,9	0,0		
24,0	19,3	100	82,3	36,4	0,6	0,4			0,0	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	
TOTAL (m ³ /s)							0,0	5,3	12,3	19,4	17,8	13,8	9,5	5,3	1,1	0,1	0,0	

Maximo Caudal =	19,4 m ³ /s
-----------------	------------------------

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.2: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	103,43 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	5 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA											
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3	
8,1	0	12	12,7	0	0	0												
14,5	6,4	78	80,7	35,1	35,1	20,4	0,0	6,7	13,7	20,4	16,4	12,3	8,2	4,1	0,0			
21,0	12,9	97	100,3	50,8	15,7	9,1		0,0	3,0	6,1	9,1	7,3	5,5	3,6	1,8	0,0		
24,0	19,3	100	103,4	53,4	2,6	1,5			0,0	0,5	1,0	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	0,0	
TOTAL (m ³ /s)							0,0	6,7	16,7	27,0	26,5	21,1	14,8	8,6	2,4	0,3	0,0	

Maximo Caudal = 27,0 m³/s

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.3: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	116,72 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	10 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA												
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3		
7,2	0	11	12,7	0	0	0													
13,6	6,4	80	93,4	45,1	45,1	26,3	0,0	8,7	17,6	26,3	21,0	15,8	10,5	5,3	0,0				
20,1	12,9	95	110,9	59,6	14,5	8,4		0,0	2,8	5,6	8,4	6,7	5,1	3,4	1,7	0,0			
24,0	19,3	100	116,7	64,6	5,0	2,9			0,0	1,0	1,9	2,9	2,3	1,7	1,2	0,6	0,0		
TOTAL (m³/s)							0,0	8,7	20,4	32,9	31,4	25,4	17,9	10,4	2,8	0,6	0,0		

Maximo Caudal =	32,9 m³/s
------------------------	-----------------------------

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.4: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 25 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	132,78 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	25 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA												
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3		
6,7	0	10	12,7	0	0	0													
13,1	6,4	77	102,2	52,4	52,4	30,5	0,0	10,1	20,4	30,5	24,4	18,3	12,2	6,1	0,0				
19,6	12,9	94	124,8	71,6	19,2	11,2		0,0	3,7	7,5	11,2	8,9	6,7	4,5	2,2	0,0			
24,0	19,3	100	132,8	78,5	7,0	4,1			0,0	1,3	2,7	4,1	3,2	2,4	1,6	0,8	0,0		
TOTAL (m ³ /s)							0,0	10,1	24,1	39,3	38,3	31,3	22,1	13,0	3,9	0,8	0,0		

Maximo Caudal =	39,3 m ³ /s
-----------------	------------------------

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.5: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	144,29 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	50 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m3/s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA												
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3		
6,2	0	9	12,7	0	0	0													
12,6	6,4	74	106,8	56,2	56,2	32,7	0,0	10,8	21,9	32,7	26,1	19,6	13,1	6,5	0,0				
19,1	12,9	94	135,6	81,1	24,9	14,5		0,0	4,8	9,7	14,5	11,6	8,7	5,8	2,9	0,0			
24,0	19,3	100	144,3	88,8	7,7	4,5			0,0	1,5	3,0	4,5	3,6	2,7	1,8	0,9	0,0		
TOTAL (m3/s)							0,0	10,8	26,7	43,9	43,6	35,7	25,3	15,0	4,7	0,9	0,0		

Maximo Caudal =	43,9 m3/s
------------------------	------------------

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.6: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	155,48 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	100 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA											
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3	
5,8	0	8	12,7	0	0	0												
12,2	6,4	69	107,3	56,6	56,6	32,9	0,0	10,9	22,1	32,9	26,3	19,8	13,2	6,6	0,0			
18,7	12,9	94	146,2	90,4	33,8	19,7		0,0	6,5	13,2	19,7	15,8	11,8	7,9	3,9	0,0		
24,0	19,3	100	155,5	98,8	8,4	4,9			0,0	1,6	3,3	4,9	3,9	2,9	2,0	1,0	0,0	
TOTAL (m ³ /s)							0,0	10,9	28,6	47,7	49,3	40,4	28,9	17,4	5,9	1,0	0,0	

Maximo Caudal =	49,3 m ³ /s
-----------------	------------------------

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.7: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 200 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 200 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	166,44 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	200 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m3/s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA												
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3		
5,5	0	8	12,7	0	0	0													
11,9	6,4	62	103,2	53,2	53,2	30,9	0,0	10,2	20,7	30,9	24,8	18,6	12,4	6,2	0,0				
18,4	12,9	93	154,8	98,2	45,0	26,2		0,0	8,6	17,6	26,2	21,0	15,7	10,5	5,2	0,0			
24,0	19,3	100	166,4	108,8	10,6	6,2			0,0	2,0	4,1	6,2	4,9	3,7	2,5	1,2	0,0		
TOTAL (m3/s)							0,0	10,2	29,4	50,5	55,1	45,7	33,0	20,4	7,7	1,2	0,0		

Maximo Caudal =	55,1 m3/s
------------------------	------------------

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO C.8: ZONA CAPTACIÓN RÍO CHAVINI: HIDROGRAMA DE AVENIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

RIO CHAVINI - ZONA DE CAPTACION VALORES DEL HIDROGRAMA PARA PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS

DURACION DE LLUVIA :	6,43 Hrs	TIEMPO PICO :	19,303 Hrs	TIEMPO BASE :	51,54 Hrs
LONGITUD :	15 Km	AREA DE CUENCA :	54 Km ²	CURVA NUMERO (CN) :	80
PRECIPITACION :	180,84 mm	ABS. INICIAL :	12,7 mm	PERIODO DE RETORNO:	500 Años
		PENDIENTE:	0,1 %		

HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DESDE EL INICIO DE LA ESCORRENTIA

Tiempo de inicio de la tormenta (hrs)	Tiempo de inicio de la escorrentia (hrs)	? Pi		? ROi (mm)	ROi (mm)	Qpi (m ³ /s)	HIDROGRAMAS INCREMENTALES PARA SIGUIENTES TIEMPOS DE INICIO DE LA ESCORRENTIA												
		(%)	(mm)				0,0	6,4	12,9	19,3	25,7	32,2	38,6	45,0	51,5	57,9	64,3		
5,6	0	7	12,7	0	0	0													
12,0	6,4	65	117,5	65,3	65,3	38,0	0,0	12,5	25,5	38,0	30,4	22,8	15,2	7,6	0,0				
18,5	12,9	93	168,2	110,4	45,1	26,2		0,0	8,7	17,6	26,2	21,0	15,7	10,5	5,2	0,0			
24,0	19,3	100	180,8	122,0	11,7	6,8			0,0	2,2	4,5	6,8	5,4	4,1	2,7	1,4	0,0		
TOTAL (m ³ /s)							0,0	12,5	34,1	57,8	61,2	50,6	36,4	22,2	8,0	1,4	0,0		

Maximo Caudal =	61,2 m ³ /s
-----------------	------------------------

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO D: ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefax: 614/800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004468

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : CARMEN MAURI YAPO
PROYECTO DE TESIS : Determinación de Recursos Hídricos en Cuencas con poca información hidrométrica aplicada al Proyecto de Irrigación Chavini
PROCEDENCIA : Distrito San Martín de Pangoa, Prov. Satipo, Dpto. Junín
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de Octubre del 2013

Nº LABORATORIO	004468
Nº DE CAMPO	AGUA DE RÍO
CE dS/m	0.06
pH	7.30
Calcio meq/l	0.29
Magnesio meq/l	0.16
Sodio meq/l	0.15
Potasio meq/l	0.04
SUMA DE CATIONES	0.63
Cloruro meq/l	0.18
Sulfato meq/l	0.11
Bicarbonato meq/l	0.37
Nitratos meq/l	0.01
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	0.67
SAR	0.31
CLASIFICACION	C1-S1
Boro ppm	0.00

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

ING. RICARDO APACALLA NALVARTE
 JEFE DE LABORATORIO



CLAVE

PELIGRO DE SALES

C1 - Salinidad baja	(0.00 - 0.25 dS/m)	:	Buenas para riego de diferentes cultivos. Sólo peligro de salinización de suelos muy impermeables de difícil drenaje interno.
C2 - Salinidad moderada	(0.25 - 0.75 dS/m)	:	De calidad buena para cultivos que se adaptan o toleran moderadamente la sal. Peligro para plantas muy sensibles y suelos impermeables.
C3 - Salinidad entre media y alta	(0.75 - 2.25 dS/m)	:	El suelo debe tener buena permeabilidad. El cultivo seleccionado debe ser tolerante a la sal.
C4 - Salinidad alta	(2.25 - 4.00 dS/m)	:	Sólo para plantas tolerantes y suelos permeables, donde pueden ser necesarios lavados especiales para remover las sales.
C5 - Salinidad muy alta	(4.00 - 6.00 dS/m)	:	Sólo para plantas muy tolerantes, suelos muy permeables y donde se puedan aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales.
C6 - Salinidad excesiva	(más de 6.00 dS/m)	:	Deben tomarse precauciones para su uso (pueden usarse en suelos muy permeables y/o mezclado con agua de buena calidad).

PELIGRO DE SODIO

S1 - Poco sodio	Sin peligro.
S2 - Medio sódica	Peligro en suelos de textura fina o arcillosa con alta capacidad de cambio especialmente si la permeabilidad es baja, a menos que el suelo contenga yeso. Puede usarse en suelos de textura gruesa entre arenosa y franca u orgánica con permeabilidad adecuada.
S3 - Muy sódica	Peligro en suelos sin yeso. requieren estos suelos buen drenaje, adición de materia orgánica y eventuales enmiendas cúlmicas, tales como yeso o azufre, que no son efectivos si las aguas son de salinidad alta C4.
S4 - Excesivamente sódica	No sirven generalmente para riego. Sólo cuando la salinidad es baja o media, donde la solución de calcio del suelo o el uso del yeso u otras enmiendas pueden hacer factibles el uso de esta agua.

PELIGRO DE BORO, CARBONATO DE SODIO RESIDUAL Y DUREZA

Boro		Na ₂ CO ₃ Residual		Dureza Total	
ppm	Clase	meq/l.	Tipo de agua	mgCaCO ₃ /Lt	Tipo de agua
< 0.3	Buena	Menor a 1.25	Recomendable	< 75	Agua blanda
		1.25 - 2.50	Poco recomendable	75 - 100	Agua moderada
0.3 - 4.0	Condicionada	Mayor de 2.50	No recomendable	150 - 300	Agua dura
				> 300	Agua muy dura
> 4.0	No recomendable				

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO

FOTOGRAFÍA N° 01



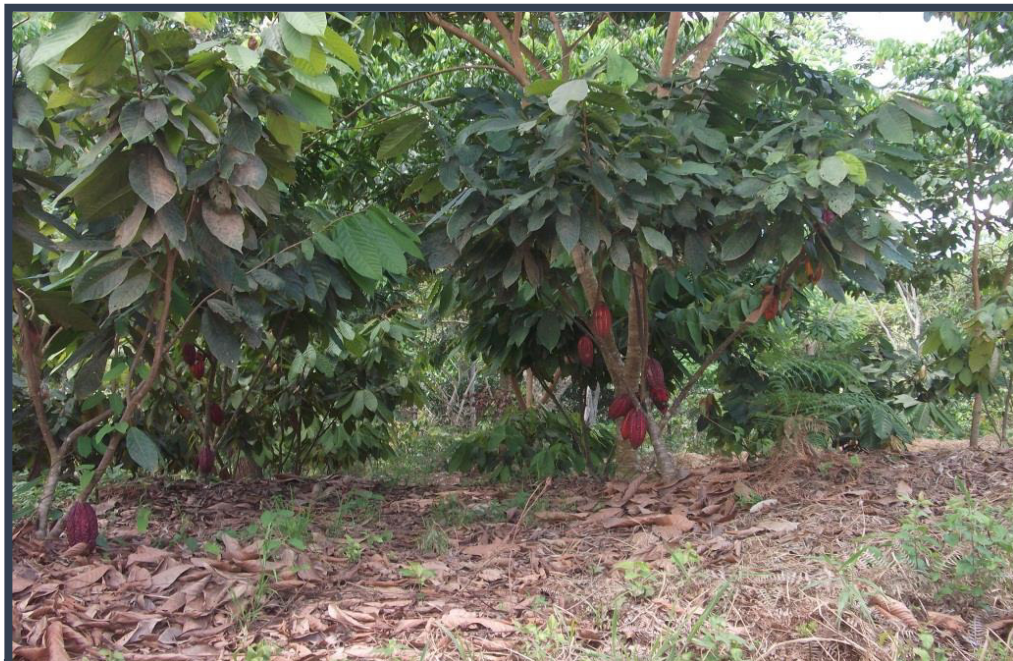
Oficina del Proyecto Especial Pichis Palcazú ubicado en el Distrito de San Martín de Pangoa

FOTOGRAFÍA N° 02



Secado del cacao luego de ser lavado, una de las actividades primarias a la que se dedica la Población de Chavini.

FOTOGRAFÍA N° 03



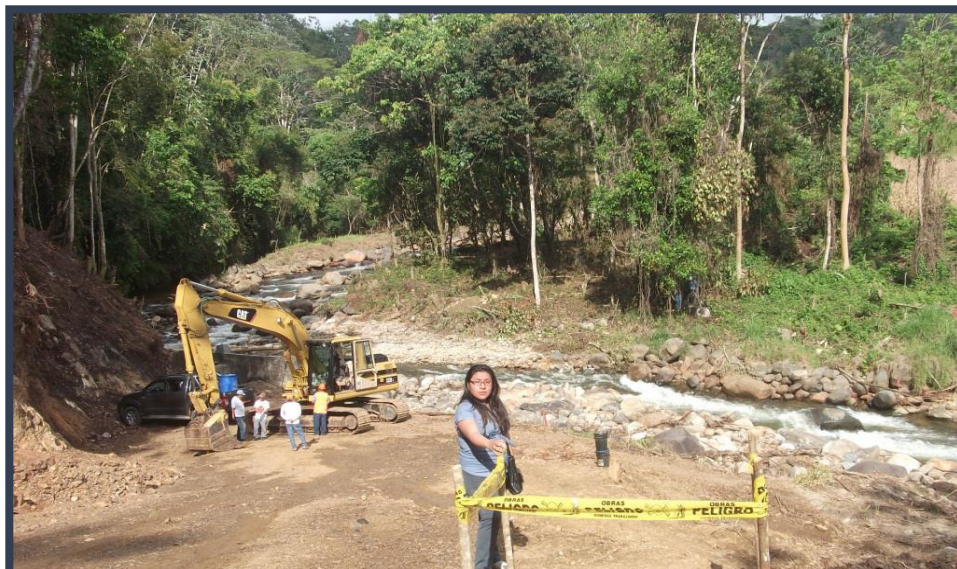
Situación actual de las plantaciones de cacao, riego por secano – Irrigación Chavini.

FOTOGRAFÍA N° 04



Tipo de suelo en las áreas de cultivo de cacao – Irrigación Chavini.

FOTOGRAFÍA N° 05



Trabajos preliminares en la zona donde estará ubicada la Bocatoma Chavini, donde se captará agua para el sistema de riego del Proyecto de Irrigación Chavini.

FOTOGRAFÍA N° 06



Cartel de Obra del Proyecto Sistema de Irrigación Pangoa que comprende del Sistema de Riego para Chavini y San Ramón.

FOTOGRAFÍA N° 07



Camino de acceso a la Central Hidroeléctrica Pangoa

FOTOGRAFÍA N° 08



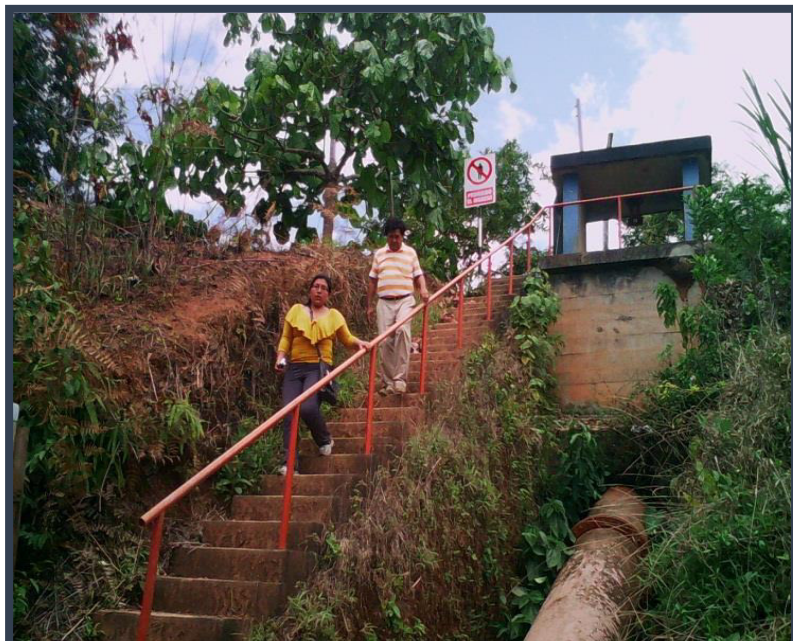
Vista de la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica de Pangoa.

FOTOGRAFÍA N° 09



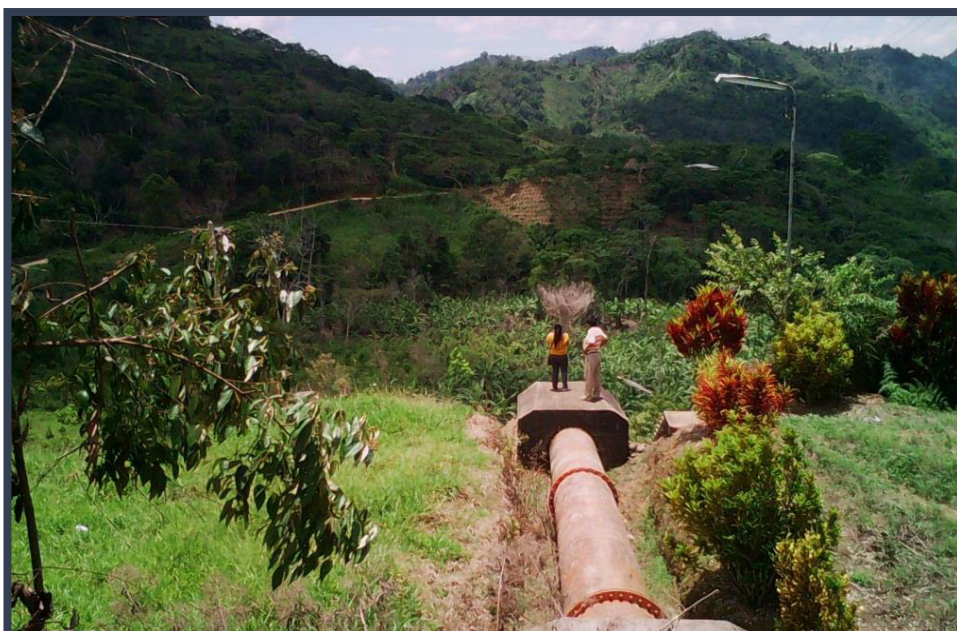
Camara de carga de la Central Hidroeléctrica Pangoa.

FOTOGRAFÍA N° 10



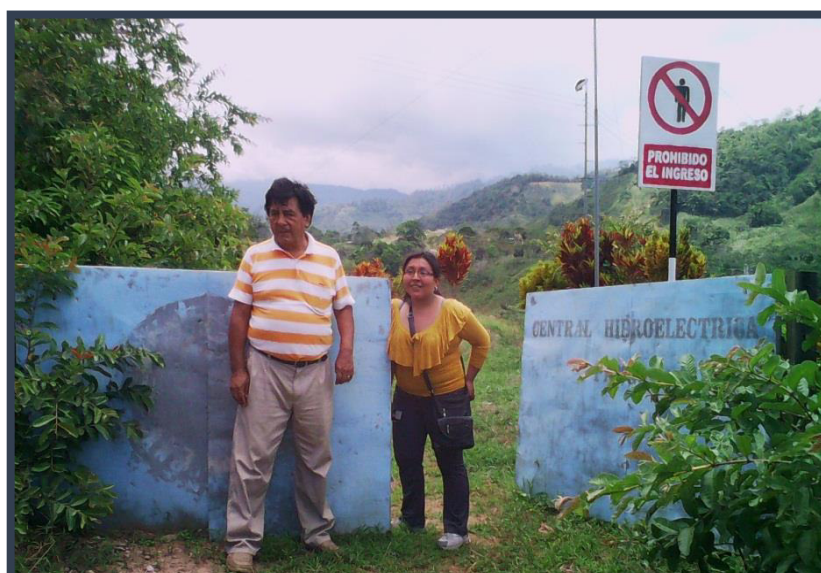
Central Hidroeléctrica Pangoa –Tubería forzada

FOTOGRAFÍA N° 11



Áreas de cultivo actual, vista desde la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica Pangoa.

FOTOGRAFÍA N° 12



En esta imagen se observa el ingreso a la Central Hidroeléctrica Pangoa, visita realizada en Octubre del 2013 por la tesista, acompañado del Ingeniero Jorge Lisa a cargo del Proyecto Irrigación Chavini.

FOTOGRAFÍA N° 13



Áreas de cultivo de plátano, zonas aledañas a la Central Hidroeléctrica. Pangoa.

FOTOGRAFÍA N° 14



Vista desde aguas abajo de la Central, se puede observar el canal por donde discurre el agua turbinada de la Central Hidroeléctrica Pangoa

ANEXO F: TRÁMITES DOCUMENTARIOS

 **UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

La Dirección de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ACREDITA

*a la estudiante **CARMEN ROSA MAURI YAPO**, con código N° 09130120, de la Especialidad de Hidráulica- Hidrología que viene elaborando su Proyecto de Tesis titulada "Determinación del Rendimiento Hídrico en Cuencas con poca información Hidrométrica y su Aplicación al Proyecto de Irrigación Chavini"*

Este documento es válido para que su representada pueda efectuar un reconocimiento del área del Proyecto de Irrigación Chavini, que forma parte del PROYECTO IRRIGACION PANGOA, a ser realizado del 09 al 12 de octubre del 2013, en el Distrito de Pangoa.

Ciudad Universitaria, 02 de octubre de 2013


Mg. Ing. Jorge Gastelo Villanueva
DIRECTOR DE LA EAPIMF




*Recibido : 03/10/13
11:16 a.m.
SIP- PEPP
Noelia Núñez C.*

Dirección: Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas
Av. Vencedor Cda 14, Lima 1
Atención: 4-6149 - Lima 1 & Perú

DISEÑO	515 - 7000	Área: 3517
DAIMP	510 - 7000	Área: 3511
EAPIMF	510 - 7000	Área: 3506



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

CARGO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

Ciudad Universitaria, 05 de agosto de 2013

Oficio N° 331-EAPIMF-FCF-13

Señor Ingeniero
EFRAIN CÁCERES PALOMINO
Director de Estudios
Proyecto Especial Pichis Palcazu
Presente.-

PROYECTO ESPECIAL
PICHIS PALCAZU

06 AGO 2013

RECIBIDO
Of. de Enlace - Lib.

ASUNTO: SOLICITUD DE VISITA A LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO IRRIGACIÓN CHAVINI

De mi consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a usted con el fin de presentar a la alumna Srta. CARMEN ROSA MAURI YAPO, con código de matrícula N° 09130120, estudiante del 10° Ciclo de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos (EAPIMF) del área de Hidráulica - Hidrología, de la Facultad de Ciencias Físicas - UNMSM, quien viene elaborando su trabajo de Tesis titulada "Determinación del Rendimiento Hídrico en Cuencas con poca información Hidrométrica y su Aplicación al Proyecto de Irrigación Chavini".

En este sentido solicitamos por intermedio de la presente, que su representada pueda brindar las facilidades del caso para que la alumna Srta. Carmen Rosa Mauri Yapo, pueda efectuar un reconocimiento del área del Proyecto de la Irrigación Chavini, que forma parte del PROYECTO IRRIGACIÓN PANGO, y poder recabar información referente a la demanda agrícola, cedula de cultivo del proyecto, y los caudales turbinados históricos de la central hidroeléctrica Chavini, y de igual forma tomar vistas fotográficas de los sitios antes mencionados.

Sabedores de su amplio apoyo a la Universidad Peruana y sobre todo a temas de Investigación que plantean solucionar problemas relacionados con la Gestión y Planteamiento de los Recursos Hídricos en nuestro País, esperamos la aceptación de lo solicitado a su representada.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente,



Mg. Ing. Jorge Luis Gastelo Villanueva
DIRECTOR DE LA EAPIMF

/sja

Dirección: Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas
Av. Venezuela Cdra 24, Lima 1
Aparado Postal: 14-0149 - Lima 14 Perú

Decanato: 619-7000 Anexo: 3817
DAIMF: 619-7000 Anexo: 3811
EAPIMF: 619-7000 Anexo: 3806
E-mail: eapimf@unmsm.edu.pe

CARGO



PERÚ
Ministerio de
Agricultura

**Proyecto Especial
Pichis Palcazú**

REC
RECEBIDO
La Merced
9 AGO 2013

9 AGO 2013

OFICIO N° 428 -2013-AG/PEPP-CD/DE



11316850621 FOLIOS **2**
PROYECTO ESPECIAL PICHIS PALCAZÚ
LAM - LIM COORD **A03**
JORGE LUIS CASTELO VILLANUEVA
AV. VENEZUELA CDRA 34, LIMA
CARGO ADJUNTO-OLJA COURIER 20.09/2013

Señor:
Mg. Ing. Jorge Luis Castelo Villanueva
Director de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica
de Fluidos - EAPIMF
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Av. Venezuela cuadra 34
LIMA.-

ASUNTO : SOLICITUD DE VISITA A LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO IRRIGACIÓN CHAVINI.

REF. : OFICIO No.331-EAPIMF-FCF-13

Es grato dirigirme a usted para expresarle el cordial saludo, a nombre del Proyecto Especial Pichis Palcazú, y en atención al documento de la referencia, comunico que nuestra institución esta llana a brindar todas las facilidades que el caso requiera, a la alumna **Srta. Carmen Rosa Mauri Yapo**, estudiante de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos (EAPIMF) del área de Hidráulica – Hidrología, de la Facultad de Ciencias Físicas – UNMSM, a fin de que pueda realizar el reconocimiento y recabar la información requerida, en el área del Proyecto de Irrigación Chavini y sirva de aplicación en la elaboración de su trabajo de Tesis que viene realizando.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para reiterarles las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



MINISTERIO DE AGRICULTURA
PROYECTO ESPECIAL PICHIS PALCAZÚ
DIRECCIÓN EJECUTIVA
Ing. EFRAÍN CÁCERES PALOMINO
DIRECTOR EJECUTIVO

ECP/D.E.
Sec./Ibm
c.c. D.O.S.
JEFE ZONAL SATIPO — *Ing. W. Barrios*
Archivo.

CUT: 101961 – 2013

Pampa del Carmen s/r – Teléfonos. 064 - 531607-532379
La Merced – Chanchamayo
Av. Guillermo Prescott No. 490 – Telefax 2413736 San Isidro – Lima – RPM # 990930400
E-mail: www.pepp.dob.pe - ecaceres@pepp.dob.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

Ciudad Universitaria, 11 de noviembre de 2013

Oficio N° 527-EAPIMF-FCF-13

Señor Ingeniero
Daniel Bernardo
Gerente Empresa EGEPSA
Presente.-

**ASUNTO: RECOPIACION DE INFORMACION SOBRE CAUDALES HISTÓRICOS
TURBINADOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PANGOA**

Tengo el agrado de dirigirme a usted con el fin de presentar a la alumna Srta. CARMEN ROSA MAURI YAPO, con código de matrícula N° 09130120, estudiante del 10° Ciclo de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos (EAPIMF) del área de Hidráulica – Hidrología, de la Facultad de Ciencias Físicas – UNMSM, quien viene elaborando su trabajo de Tesis titulada “Determinación del Rendimiento Hídrico en Cuencas con poca Información Hidrométrica y su Aplicación al Proyecto de Irrigación Chavini”.

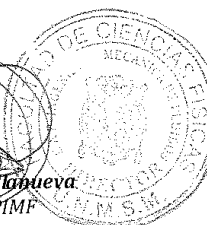
En este sentido solicitamos por intermedio de la presente, que se pueda brindar la información referente a los caudales mensuales históricos disponibles en la bocatoma, los caudales mensuales turbinados, la potencia y energía generada a nivel mensual de la Central Hidroeléctrica de Pangoa, información que por motivos de tiempo no fueron recopilados por la alumna Srta. Carmen Rosa Mauri Yapó, durante su viaje de reconocimiento de la Zona de Influencia del Proyecto de Irrigación Chavini, el cual fue realizado del 09 al 12 de octubre del 2013, en el Distrito de Pangoa.

Sabedores de su amplio apoyo a la Universidad Peruana y sobre todo a los temas de Investigación que plantean solucionar problemas relacionados con la Gestión y Planteamiento de los Recursos Hídricos en nuestro País, esperamos la aceptación de lo solicitado para que la Alumna Srta. CARMEN ROSA MAURI YAPO pueda culminar con su Proyecto de Tesis.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente


Mg. Ing. Jorge Gástelo Villanueva
DIRECTOR DE LA EAPIMF



22/2/2015

Gmail - Información Solicitada al SENAMHI



Carmen Rosa Mauri <caromauri.ing@gmail.com>

Información Solicitada al SENAMHI

Luis Vera H. <lvera@senamhi.gob.pe>
Para: caromauri.ing@gmail.com

5 de mayo de 2014, 15:20

Srta. Carmen Mauri

Adjunto al presente se remite la Información Solicitada al SENAMHI, con oficio N° 240-EAPIMF-FCF-14 del 22/04/2014

Atte..

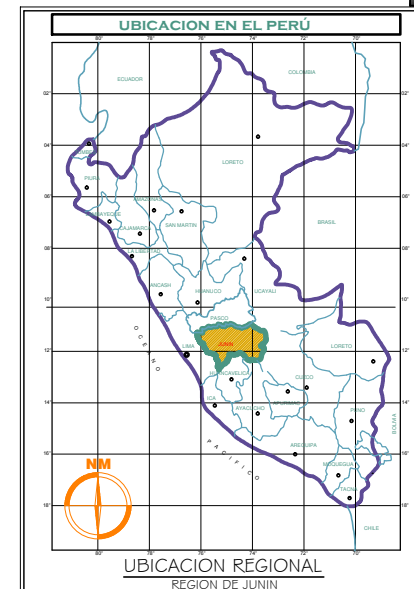
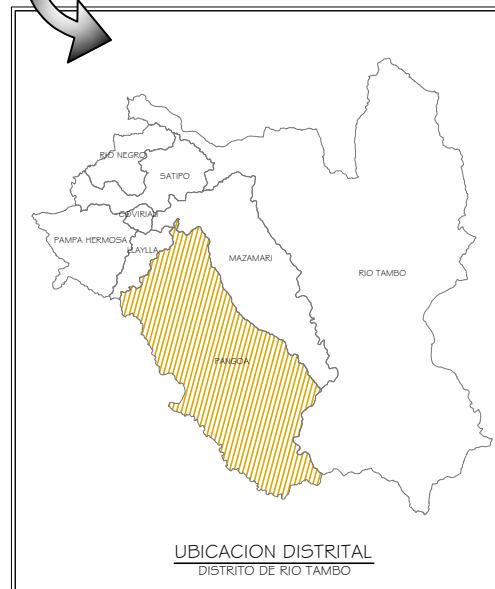
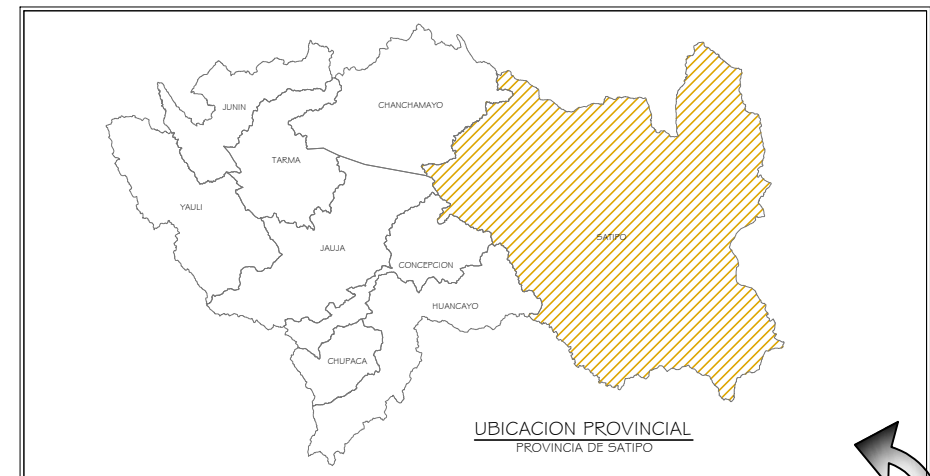
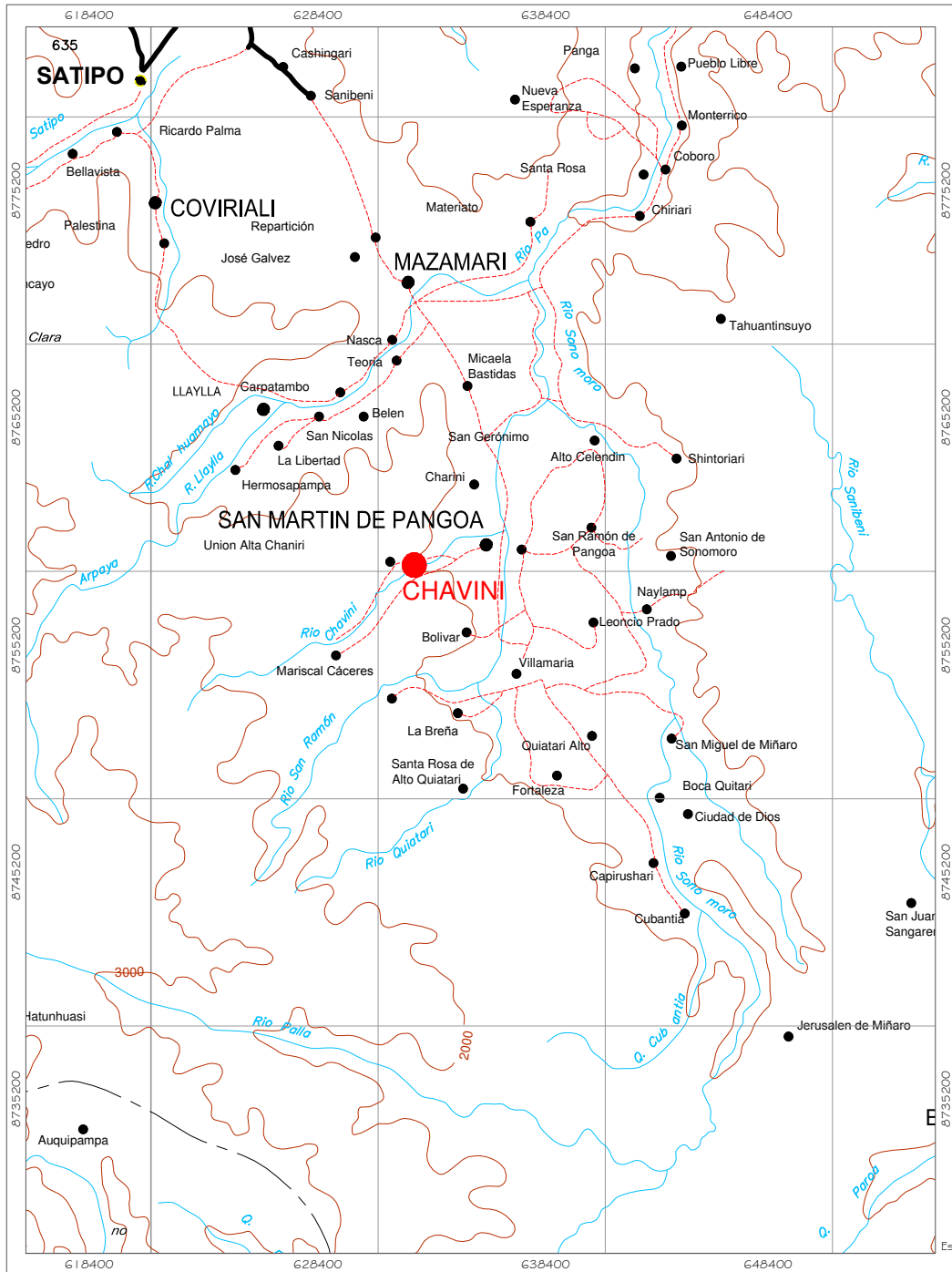
Ing. Luis Vera Hernández

=====

Director de Estadística
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SENAMHI
Celular: 9850-29025
RPM: *301846
Teléfono: 6141414 Anexo 441

 Para Carmen Mauri.XLS
42K

PLANOS



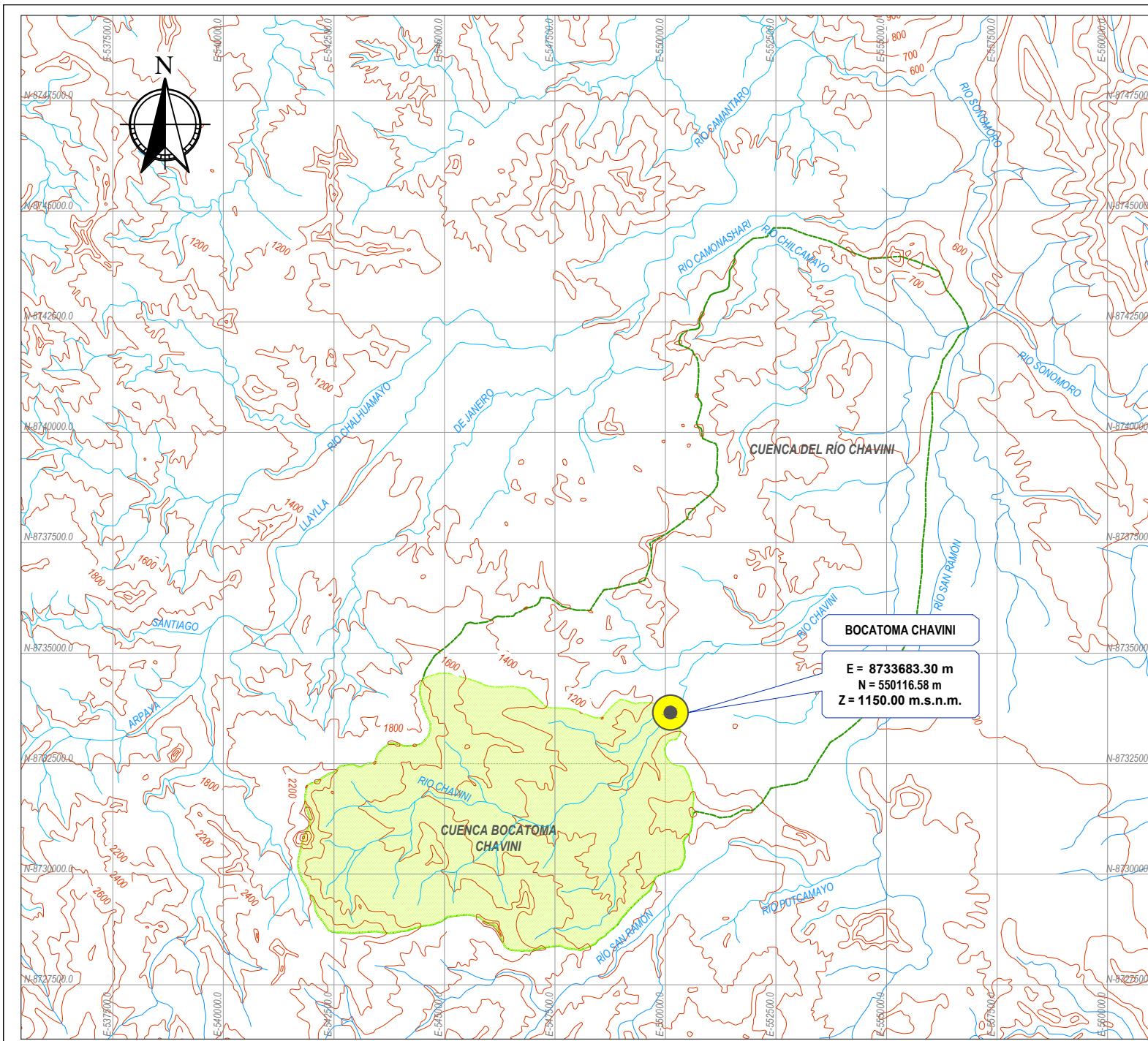
LEYENDA	
VIAS DE COMUNICACIÓN	
Via asfaltada.....	—
Via afirmada.....	—
Camino de herradura.....	—
Rios.....	—
Limite Distrital.....	—

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

TESIS: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HIDRICO EN CUENCAS CON Poca INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI"

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

PLANO:	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	Nº DE PLANO:	Nº01
DEBIDO:	CARMEN ROSA MAURI YAPO	FEDAT:	SEPTIEMBRE 2016
REVISADO:	ING. DOUGLAS D. SARANGO JULCA	APROBADO:	SEPTIEMBRE 2016
		CODIGO DEL PLANO:	PT-H
		ESCALA:	1/150000



UBICACIÓN REGIONAL
REGIÓN: JUNÍN

LEYENDA	
	CURVA DE NIVEL
	RÍOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS
	CUENCA BOCATOMA CHAVINI
	CUENCA DEL RÍO CHAVINI
	UBICACIÓN DE LA BOCATOMA



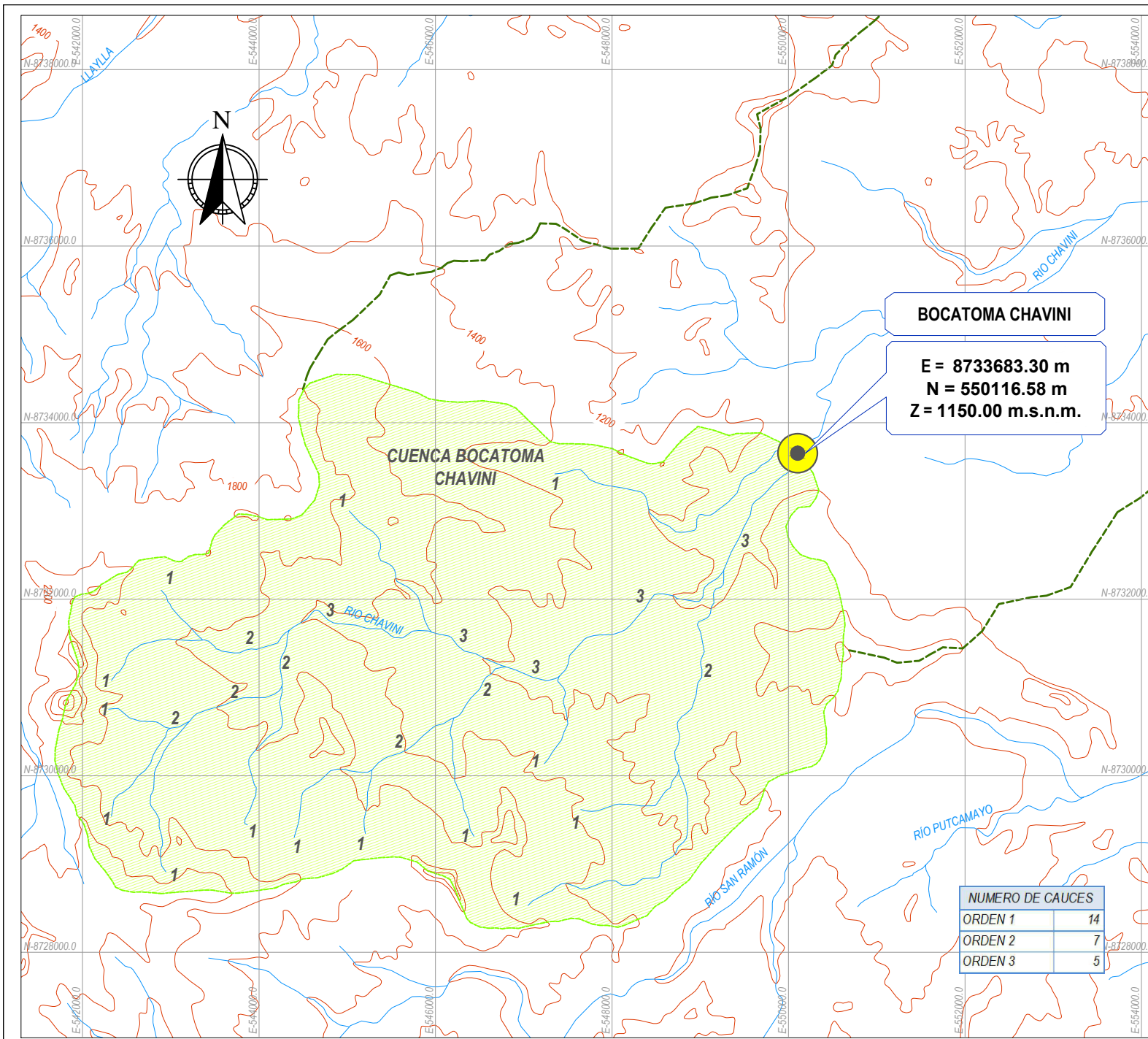
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

TESIS: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO DE IRRIACIÓN CHAVINI"

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS



PLANO:		CUENCA DEL RÍO CHAVINI Y CUENCA APORTANTE A LA BOCATOMA CHAVINI		Nº DE PLANO:	Nº02
DIBUJO:	CARMEN ROSA MAURI YAPO	FECHA:	SEPTIEMBRE 2016	CODIGO DEL PLANO:	PT-H
REVISADO:	ING. DOUGLAS D. SARANGO JULCA	APROBADO:	SEPTIEMBRE 2016	ESCALA:	1/60000



UBICACIÓN REGIONAL
REGIÓN: JUNÍN

LEYENDA	
	CURVA DE NIVEL
	RIOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS
	CUENCA BOCATOMA CHAVINI
	CUENCA DEL RIO CHAVINI
	UBICACIÓN DE LA BOCATOMA



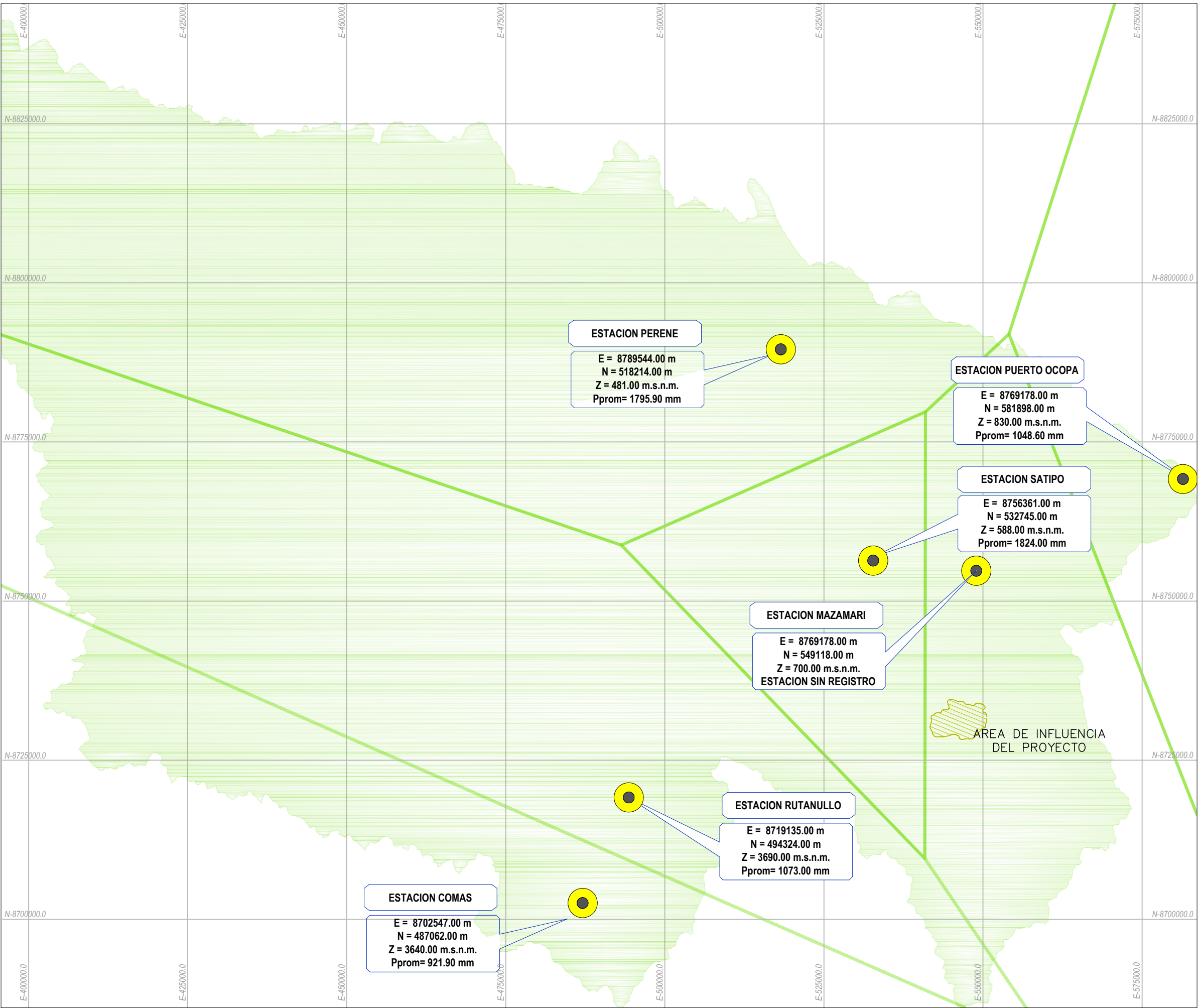
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

TESIS: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO DE IRRIACIÓN CHAVINI"

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS



PLANO:	NUMERO DE ORDEN CUENCA BOCATOMA CHAVINI	N° DE PLANO: N°03
DIBUJO: CARMEN ROSA MAURI YAPO	FECHA: SEPTIEMBRE 2016	CODIGO DEL PLANO: PT-H
REVISADO: ING. DOUGLAS D. SARANGO JULCA	APROBADO: SEPTIEMBRE 2016	ESCALA: 1/15000



LEYENDA	
	POLIGONO DE THIESSEN
	AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO
	CUENCA DEL RIO PERENÉ
	UBICACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETRICAS
	UBICACIÓN DE LA BOCATOMA



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR
DE SAN MARCOS



TESIS: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS
CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL
PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI"

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

PLANO:
UBICACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS
POLIGONO DE THIESSEN

N° DE PLANO:
N°04

DIBUJO:
CARMEN ROSA MAURI YAPO

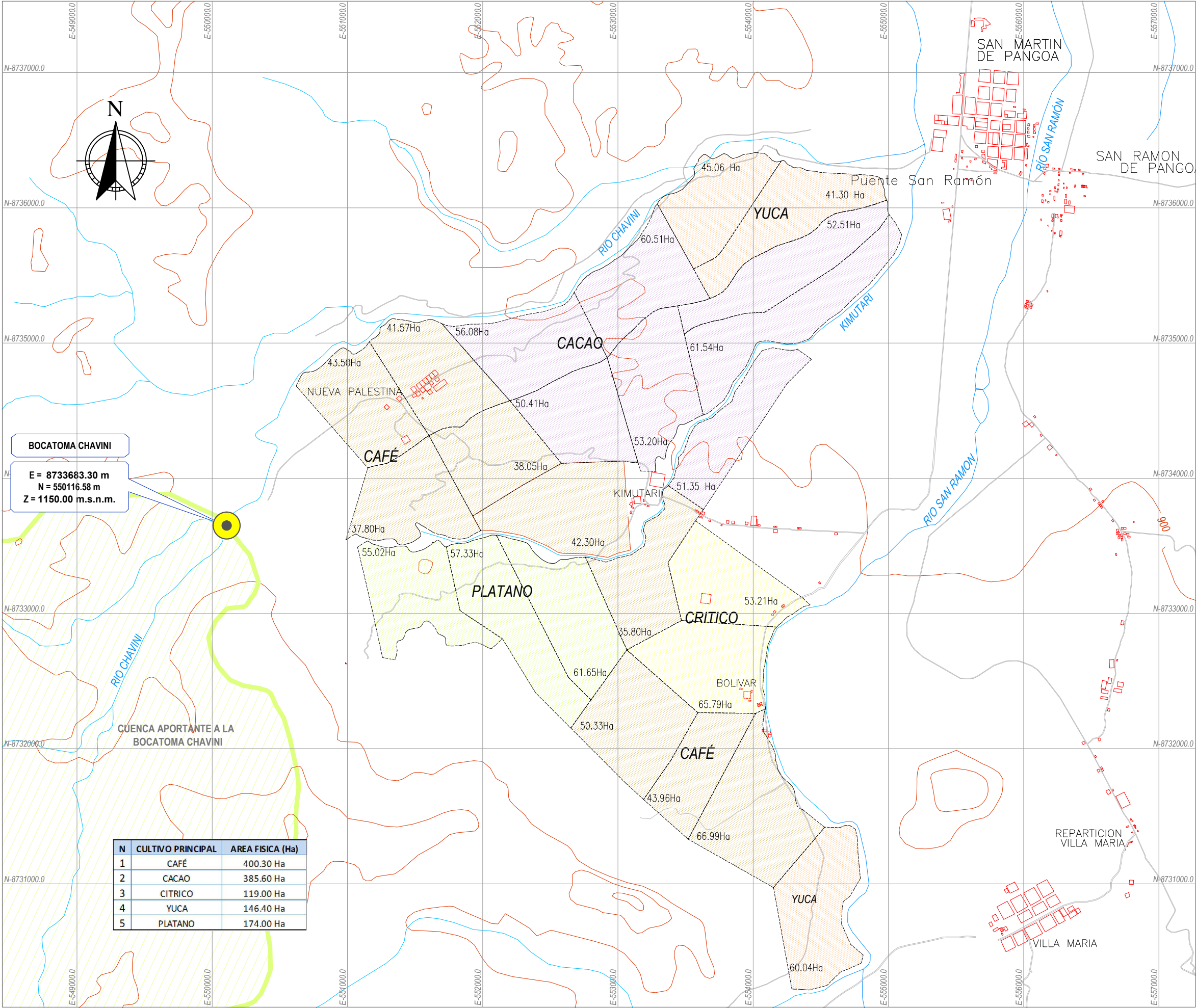
FECHA:
SEPTIEMBRE 2016

CODIGO DEL PLANO:
PT-H

REVISADO:
ING. DOUGLAS D. SARANGO JULCA

APROBADO:
SEPTIEMBRE 2016

ESCALA:
1/60000



BOCATOMA CHAVINI
E = 8733683.30 m
N = 550116.58 m
Z = 1150.00 m.s.n.m.

N	CULTIVO PRINCIPAL	AREA FISICA (Ha)
1	CAFÉ	400.30 Ha
2	CACAO	385.60 Ha
3	CITRICO	119.00 Ha
4	YUCA	146.40 Ha
5	PLATANO	174.00 Ha

UBICACIÓN EN PLANTA
ESCALA: 1 / 7000



UBICACIÓN REGIONAL
REGIÓN: JUNIN

LEYENDA	
	CURVA DE NIVEL
	RIOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS
	CUENCA BOCATOMA CHAVINI
	CAMINOS DE ACCESO
	UBICACIÓN DE LA BOCATOMA
	LOTES



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR
DE SAN MARCOS



TESIS: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS
CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL
PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI"

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA DE FLUIDOS

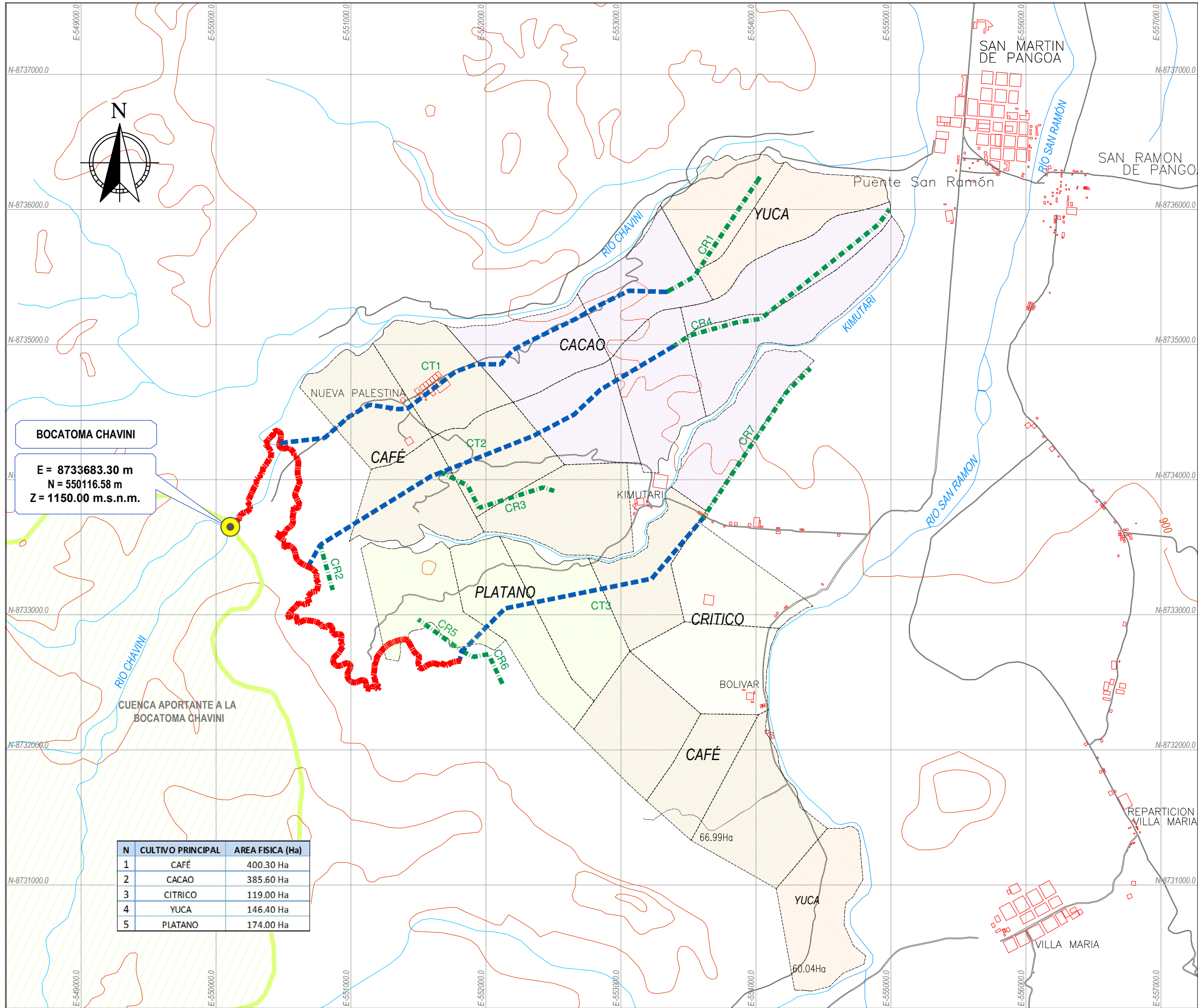
PLANO: MAPA INTERPRETATIVO DE ZONIFICACIÓN
DE CULTIVOS - PROYECTO DE IRRIGACIÓN PANGO

N° DE PLANO:
N°05

DIBUJO: CARMEN ROSA MAURI YAPO
REVISADO: ING. DOUGLAS D. SARANGO JULCA

FECHA: SEPTIEMBRE 2016
APROBADO: SEPTIEMBRE 2016

CODIGO DEL PLANO:
PT-H
ESCALA:
1/7000

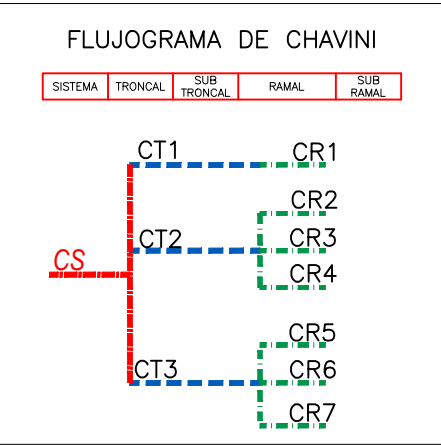


UBICACIÓN EN PLANTA
ESCALA: 1 / 7000



UBICACIÓN REGIONAL
REGIÓN: JUNÍN

LEYENDA	
	CURVA DE NIVEL
	RIOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS
	CUENCA BOCATOMA CHAVINI
	CAMINOS DE ACCESO
	UBICACIÓN DE LA BOCATOMA
	LOTES



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR
DE SAN MARCOS



TESIS: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS
CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL
PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI"

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

PLANO: SISTEMA DE CONDUCCIÓN
PROYECTO DE IRRIGACIÓN PANGOA

Nº DE PLANO:
Nº06

DIBUJO:
CARMEN ROSA MAURI YAPO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2016

CODIGO DEL PLANO:
PT-H

REVISADO:
ING. DOUGLAS D. SARANGO JULCA

APROBADO:
SEPTIEMBRE 2016

ESCALA:
1/7000



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS
MODALIDAD (M-1)

Siendo las 12:00 a.m del día miércoles 21 de setiembre de 2016, en el Aula 205 de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Mg. Ing. JORGE GASTELO VILLANUEVA y con la asistencia del asesor MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA, y miembro Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de Titulación Profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, de la Bachiller.

CARMEN ROSA MAURI YAPO

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invita a la Bachiller CARMEN ROSA MAURI YAPO a realizar la Exposición del Trabajo de Tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO HÍDRICO EN CUENCAS CON POCA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHAVINI".

Concluida la exposición de la candidata y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente del mismo, invitó a la Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó a la candidata a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por la Bachiller, la misma que es:

DIECISEIS

16

El Presidente del Jurado Mg. Ing. JORGE GASTELO VILLANUEVA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró a la Bachiller CARMEN ROSA MAURI YAPO, Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 13:30 horas del mismo día, se levanta la sesión.

Mg. Ing. JORGE GASTELO VILLANUEVA
PRESIDENTE

MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA
ASESOR

Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
MIEMBRO